

H=9m), 弾性係数を変更して解析結果を比較する。弾性係数条件は表1に示すとおりである。ただし、変位比較の着目点は掘削底面の隆起量と地表面の水平変位とした。また、3次元解析における掘削奥行きは(Z軸方向掘削範囲)は10mとした。

表 1 地盤物性値

| 単位体積重量 γ (kN/m ³) | せん断弾性係数 G (kN/m ²) | ポアソン比 ν | 内部摩擦角 ϕ (°) | 粘着力 C (kN/m ²) |
|---|-----------------------------------|----------------|---------------------|-------------------------------|
| 18 | 1300 | 0.3 | 30 | 0 |
| 18 | 2700 | 0.3 | 30 | 0 |
| 18 | 4000 | 0.3 | 30 | 0 |
| 18 | 5400 | 0.3 | 30 | 0 |
| 18 | 6700 | 0.3 | 30 | 0 |
| 18 | 8100 | 0.3 | 30 | 0 |
| 18 | 9400 | 0.3 | 30 | 0 |
| 18 | 10800 | 0.3 | 30 | 0 |
| 18 | 12100 | 0.3 | 30 | 0 |
| 18 | 13500 | 0.3 | 30 | 0 |

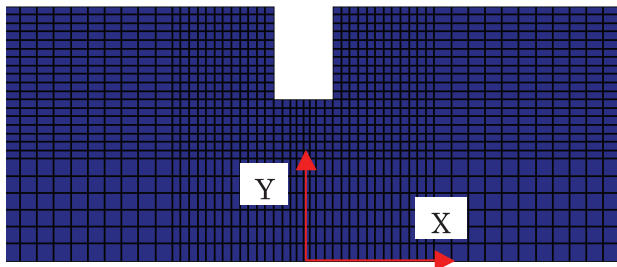


図 1 2次元解析モデル

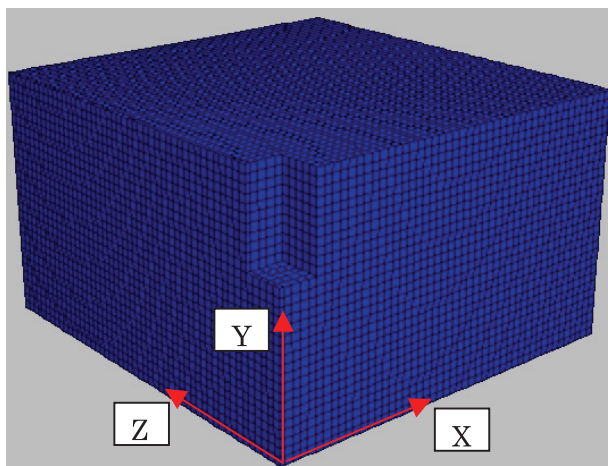


図 2 3次元解析モデル

4. 解析結果

2次元解析結果と3次元解析結果を比較検討するとき、掘削底面と掘削壁面の地表部に着目点とした。(図 3) この2点においては、掘削底面の変位量は掘削除去された土塊の上載荷重の解放による影響を反映できる。また、地表変位は一般的に実際工程解析における重要着目点である。

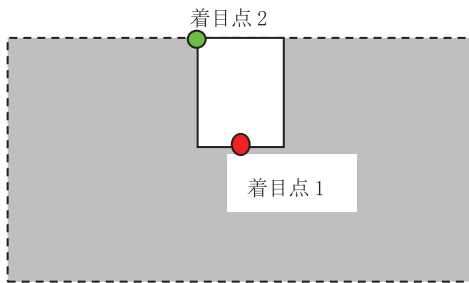


図3 着目点の位置

4. 1 応力解放率と掘削範囲の関係

(1) 3次元解析結果

3次元解析は以下の条件で実施した。

せん断弾性係数 ($G=4000 \text{ kN/m}^2$)、掘削幅 W と掘削深度 H を変更する。

図 3、図 4 はそれぞれ着目点 2 の水平変位量と着目点 1 の鉛直変位量を示している。図からわかるように、掘削底面の鉛直変位(隆起)は掘削深度の増加にしたがって増大する。同時に、掘削幅の増加にしたがって増大する。しかし、着目点 2 の水平変位は掘削深度の増加にしたがって増加するが、掘削幅とほとんど関係ないことを示している。また、掘削底面の隆起量は掘削深度とほぼ直線関係を示している。地表面における水平変位は掘削深度が 8m を超えるとその増加率が著しく大きくなる傾向を示している。

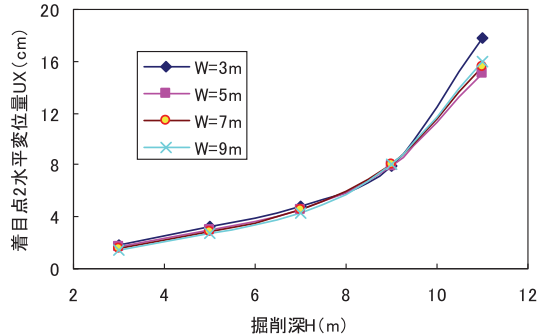


図 3 着目点1水平変位の 3D 解析結果

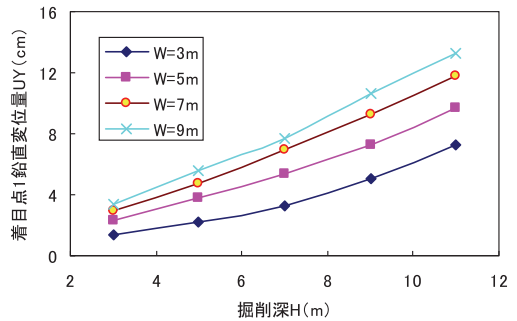


図 4 着目点 2 の 3D 解析結果

(2) 2次元解析における応力解放率と掘削範囲の関係

3次元解析モデルの各解析ケースに対して2次元解析を行い、3次元解析結果を基準とした応力解放率の結果は図 5、図 6 に示すとおりである。

図 5 は掘削幅をパラメータとして、着目点 1 の鉛直変位に関する応力解放率と掘削深度の関係を示している。この図より、応力解放率は掘削幅の増加に伴って上昇するが掘削深度の影響は小さい。この結果はちょうど3次元的拘束効果を反映したものと考えられる。

図 6 は掘削幅をパラメータとして、着目点 2 の

水平変位に関する応力解放率と掘削深度の関係を示している。この図によれば、応力解放率は掘削深度の影響を大きく受けるが掘削幅の影響は小さい。これは着目点1の水平変位は主に地盤全体の応力変化の影響によるものであり、地盤全体の応力変化は主に掘削深度の影響を受けるからである。また、図 5 より掘削深度が3 m～5mの範囲では、応力解放率は掘削深度の増加にしたがって増加するが、掘削深度が5mを超えると、応力解放率は掘削深度の増加にしたがって減少する傾向にある。図 5 と図 6 を比較すると次のことがわかる。二次元解析においては、掘削深度は掘削幅に比べて地表変位への影響が比較的大きい。H=5m のとき、応力解放率は50%、H=11m の時、応力解放率は15%程度である。

図 7、図 8 は図 5、図 6 と同じ関係を示すものであるが、掘削深度をパラメータとしている。

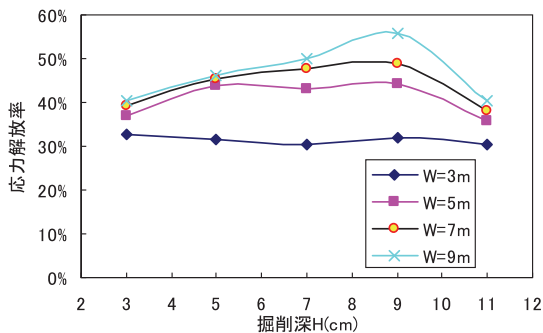


図 5 鉛直変位における応力解放率と掘削深の関係

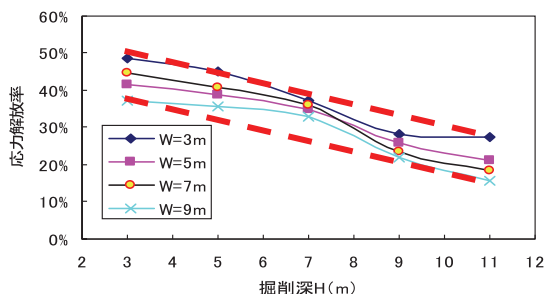


図 6 水平変位における応力解放率と掘削深の関係

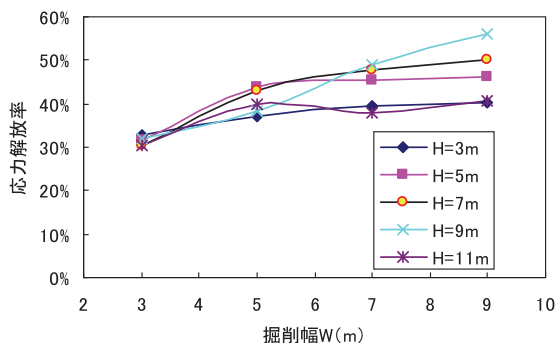


図 7 鉛直変位における応力解放率と掘削幅の関係

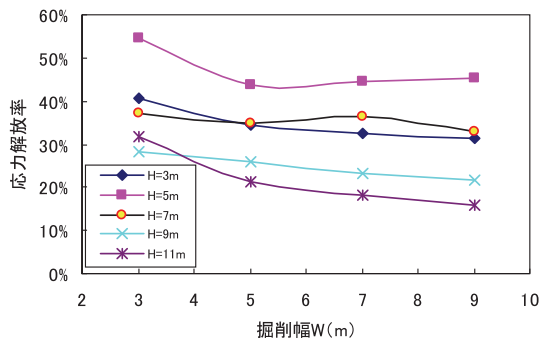


図 8 水平変位における応力解放率と掘削幅の関係

4. 2 応力解放率と弾性係数の関係

ここでは、掘削深度 H と掘削幅 W を一定 ($H=9\text{m}$, $W=7\text{m}$) とし、弾性係数と変位量および応力解放率との関係を検討する。

(1) 3次元解析結果

3次元解析結果は図 9 及び図 10 に示す通りである。

(2) 2次元解析における応力解放率と弾性係数の関係

図 11、図 12 に示すように着目点の鉛直変位と水平変位いずれも、2次元解析結果と3次元解析結果が一致するときの応力解放率は弾性係数の増加にしたがって減少する。これは3次元の拘束効果は地盤剛性の増加で大きくなると考えられる。とくに、弾性係数が 5.0MPa より低い範囲ではこの影響は大きく示されている。

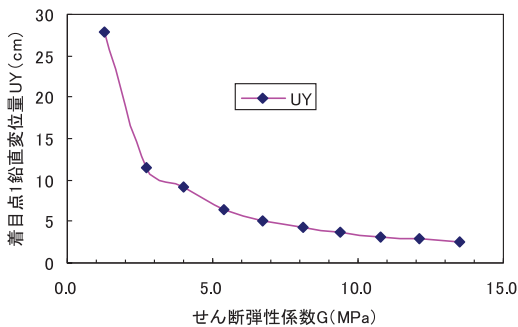


図 9 着目点 1 における鉛直変位量(UY)と地盤剛性との関係

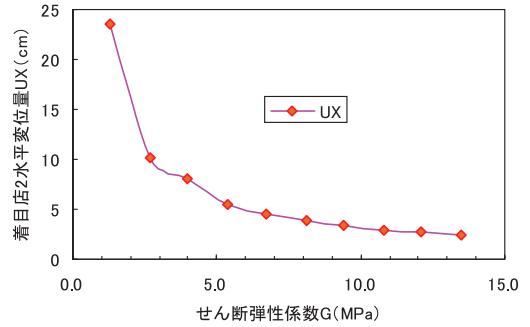


図 10 着目点 2 における水平変位量(UX)と地盤剛性との関係

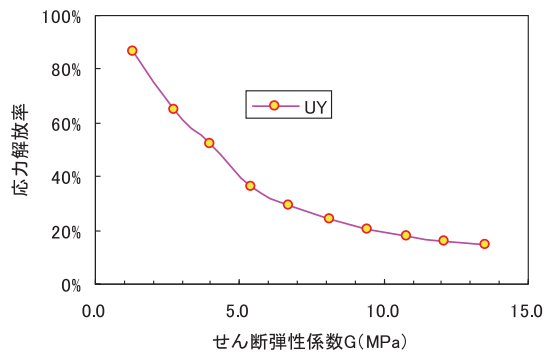


図 11 応力解放率と地盤剛性の関係

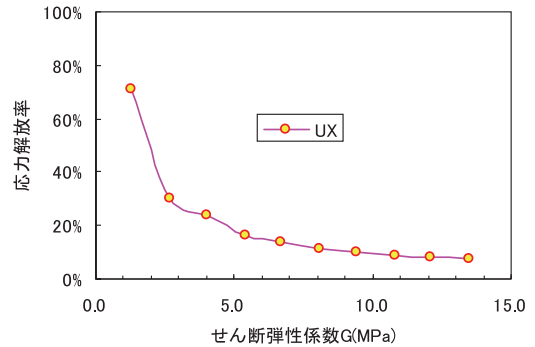


図 12 応力解放率と地盤剛性の関係

5. まとめ

本稿では2次元数値解析と3次元数値解析を実施することによって、地盤の3次元的拘束効果が2次元解析に対する影響を検討した。この影響を2次元解析における応力解放率を用いて示している。以上の解析検討より以下の知見が得られた。

- 1) 開削施工底面の鉛直変位を着目する場合、応力解放率は主に掘削幅の影響を受ける。応力解放率の範囲は30%-55%である。
- 2) 掘削坑口部の地表水平変位を着目する場合、応力解放率は主に掘削深度の影響を受ける。その範囲は15%-55%である。
- 3) 2次元解析における応力解放率は弾性係数の増加に伴って減少する。これは地盤剛性の増加により3次元的拘束効果が大きくなることを示している。特に低い地盤強度範囲ではこの影響は非常に大きい。

上記内容をまとめると、2次元解析で開削施工を解析する場合、3次元的地盤拘束効果を見逃さない。適当な応力解放率の設定によって実際の地盤変位を求める必要があると考えられる。応力解放率の設定に当り、地盤強度だけでなく、掘削規模も考慮する必要がある。

参考文献

- 1) Shepherd, R. and Frost, J. D. : Failures in Civil Engineering: Structural, Foundation and Geoenvironmental Case Studies, ASCE, 1995
- 2) 日本鉄道技術協会, 深い掘削土留め工設計法 H5.9