

### 大深度シールド立坑における可撓性継手の配置とそれによる効果に関する解析的研究

早稲田大学大学院 学生会員 児玉拓也  
 早稲田大学大学院修了 藤原康史  
 大成建設 フェロー会員 志波由紀夫  
 早稲田大学大学院 学生会員 佐藤武瑠  
 早稲田大学 正会員 小泉淳

#### 1 研究の背景と目的

大深度の地下空間の利用にともない、硬質な地層と軟質な地層にまたがって建設される大深度立坑が多くなると予想され、このような立坑では地震時に地層境界部において大きな応力が発生すると考えられる。そこで著者らは、立坑の水平断面に可撓性継手を設けることにより地震時応力を低減することを考え、模型振動実験や数値シミュレーションによる検討を行っている<sup>1),2)</sup>。今回は立坑のどの部分に可撓性継手を配置すると効果が高くなるかを3次元FEM地震応答解析により検討した。

#### 2 数値解析の概要

数値解析の妥当性を検証する意味もあって、今回は以前行った1/200スケールの模型振動実験<sup>1)</sup>のシミュレーションを通じて、可撓性継手の配置と剛性を变化させた時の立坑の地震時発生ひずみを調べた。図1に解析モデルを示す。対称性を考えて半分のモデルとし、地盤をソリッド要素で、立坑はシェル要素でモデル化した。可撓性継手部分もシェル要素でモデル化し、その剛性は模型実験で用いた材料(立坑躯体部分の約1/15)に対応させた。

入力地震動波形にはエルセントロ波、八戸波、神戸波(それぞれ時間軸を1/10に縮小)を用いたが、本稿ではエルセントロ波(最大加速度値を300Galに調整)による解析結果のみを示す。

模型振動実験では、図1に示すように、可撓性継手を①～⑮の15箇所設けた。しかし、実施工を考えると1～2箇所が妥当である。解析では、まず、模型振動実験と同じ条件について地盤および立坑の応答を再現できることを検証した。図2はその検証結果の一例であり、地盤上面の変位と立坑のひずみの応答波形を実験と解析で比較したものである。これによりモデルの妥当性が確認できた。

また、図3は曲げひずみのコンター図であるが地層境界付近に曲げひずみが集中していることが確認できる。したがって、地層境界付近に可撓性継手を配置することで同様の効果が得られるのではないかと考えられる。そこで、継手配置を地層境界およびその上下の領域で1～2箇所設ける場合を解析で検討した。立坑の地震時応力の低減化については、曲げひずみとせん断ひずみの最大値の「継手なし」の場合からの変化(ひずみ低減率)で表した。

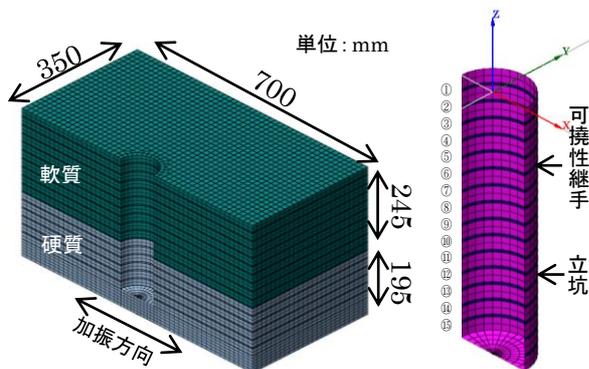


図1 解析モデル概略図

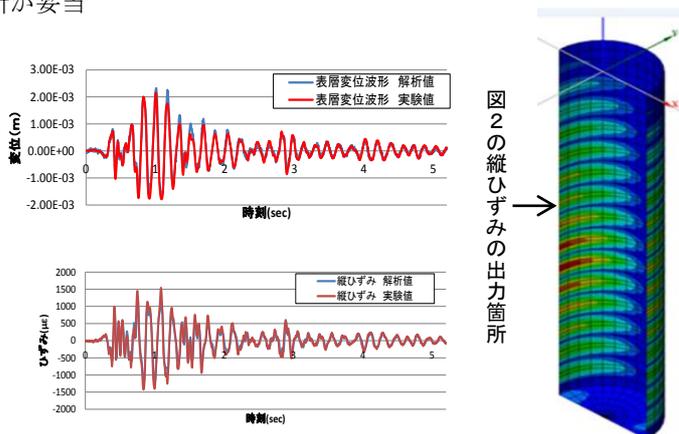


図2 解析結果と実験結果の比較

図3 曲げひずみのコンター図

キーワード シールド立坑, 地震時応力, 可撓性継手, 継手配置位置

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保3丁目4番地1号 早稲田大学理工学術院 小泉研究室 TEL03-3204-1894

### 3 解析結果

#### 3-1 継手の配置位置と地震時応力の低減効果との関係

図4はひずみの着目箇所について示したものである。図5は、継手を1箇所だけ配置した場合の曲げひずみおよびせん断ひずみの低減率を示したものである。各プロットは、継手を配置する箇所(縦軸)と、その条件のときのひずみの低減率を示している。この図から、せん断ひずみは地層境界位置に継手を配置することにより高い地震時応力の低減効果が得られるが、曲げひずみは地層境界位置に継手を配置しても必ずしも低減率は大きくない。

図6は図1に示した⑨の位置ともう1箇所の計2箇所に継手を配置した場合の解析結果であり、もう1箇所の継手を設ける位置にひずみ低減率をプロットしてある。継手を2箇所設置した場合には、地層境界よりやや上の位置に配置することにより、曲げひずみ、せん断ひずみはともに良好な低減効果が得られることが分かった。

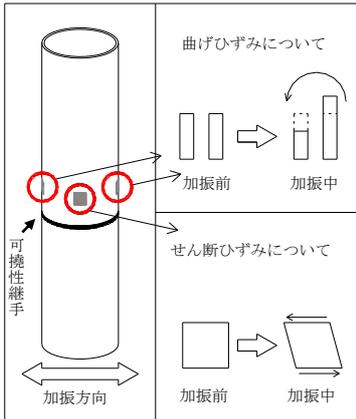


図4 着目するひずみの様子

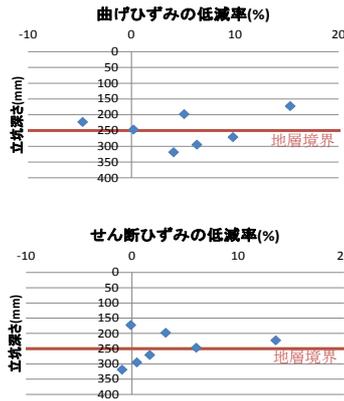


図5 継手が1箇所の場合のひずみ低減率

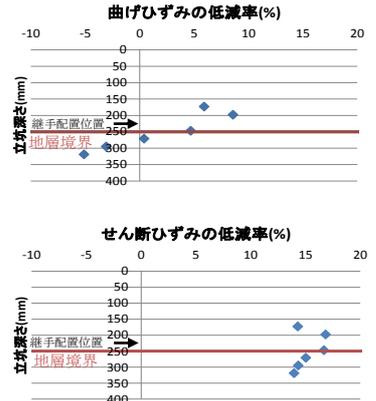


図6 継手が2箇所の場合のひずみ低減率

#### 3-2 継手の剛性と地震時応力の低減効果との関係

上記の解析では、可撓性継手部分のシェル要素のヤング率を、模型実験の条件に合わせて躯体のその約1/15としたが、ここでは1箇所配置する継手の剛性を変化させることにより地震時応力低減効果がどう変化するかを検討した。具体的にはヤング率を1/15とした場合を1として、その1/10, 1/100の場合を検討した。継手の配置位置は、継手1箇所の場合に曲げひずみがすべての地震波で安定した低減率が得られる箇所とした。この解析結果として、立坑の最大ひずみ値の深さ方向の分布を図7に示した。同図から、継手の剛性を低くすることにより、曲げひずみ、せん断ひずみはより小さくなることが確認できた。

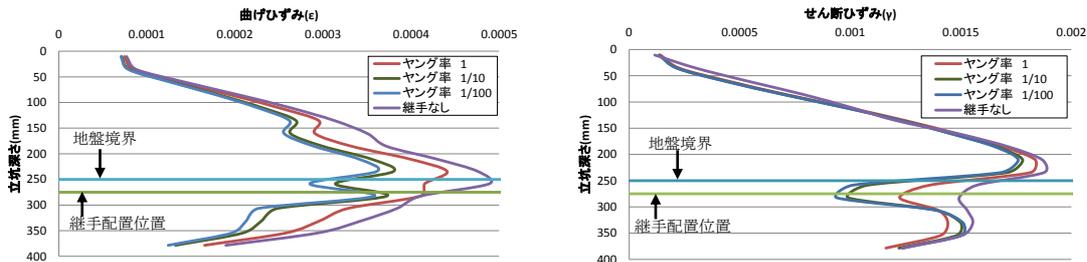


図7 可撓性継手の剛性を变化させた場合の立坑のひずみの最大値分布の変化

### 4 まとめ

大深度シールド立坑の地震時応力を低減するための可撓性継手の配置に関して、数値シミュレーションにより基礎的な検討を行った。入力地震動の波形を変えて検討した結果は、せん断ひずみに関しては上述の結果とほぼ同じであり、曲げひずみに関しては上述の結果と異なる傾向も見られた。今後検討を重ね、より安全で経済的な立坑の耐震設計についての検討を進めていきたい。

#### 参考文献

- 1) 安藤恒平ほか：大深度シールド立坑の地震時挙動と可撓継手の効果に関する基礎的研究—地盤・立坑模型の振動台実験による挙動把握—，土木学会第66回年次学術講演会，I-488，2011年9月
- 2) 澤田菜伊ほか：大深度シールド立坑の地震時挙動と可撓継手の効果に関する基礎的研究—模型振動実験の数値シミュレーションによる考察—，土木学会第66回年次学術講演会，I-489，2011年9月