

4方向に開口する円形立坑の形状効果を期待した設計手法に関する一考察

中央復建コンサルタンツ(株) 正会員 ○佐伯 義美
非会員 竹田 隆太郎

1. はじめに

近年の急激な都市化による雨水流出量の増加に伴い、豪雨による浸水被害が発生している。これらを解消するために進められている浸水対策事業は、大深度・大口径化そして発達立坑は用地確保の困難やネットワーク形成上から複雑な形状となっている。

当該立坑は、同一面に4方向の開口（東西、南北）を有した円形立坑である。今日まで一方向や二方向の開口を有した円形立坑の設計は、開口上下端にリング補強梁を配置した解析手法として評価されているが、同一面4個所の解析手法は確立されていないのが現状である。本報告は4方向開口部分を含んだ三次元FEM解析による数値解析を行い、円形立坑の形状効果確認報告を行うものである。

2. 施工概要

当該立坑は都市部の浸水対策事業の一環として築造する仕上がり内径φ5900mm4本のシールドトンネルの発達立坑である。図-1に立坑縦断面と水平断面を示す。

立坑の形状は、土留め壁としてRC地中連続壁（内径17.00m、壁長35.00m）を採用し、本構築である内部躯体は逆巻工法により築造される。その後、南行き→北行き→西行き→東行きの順番でシールド機が掘進する計画である。現在、工事は南行きの掘進を完了し北行き掘進のためのマシン整備中である。

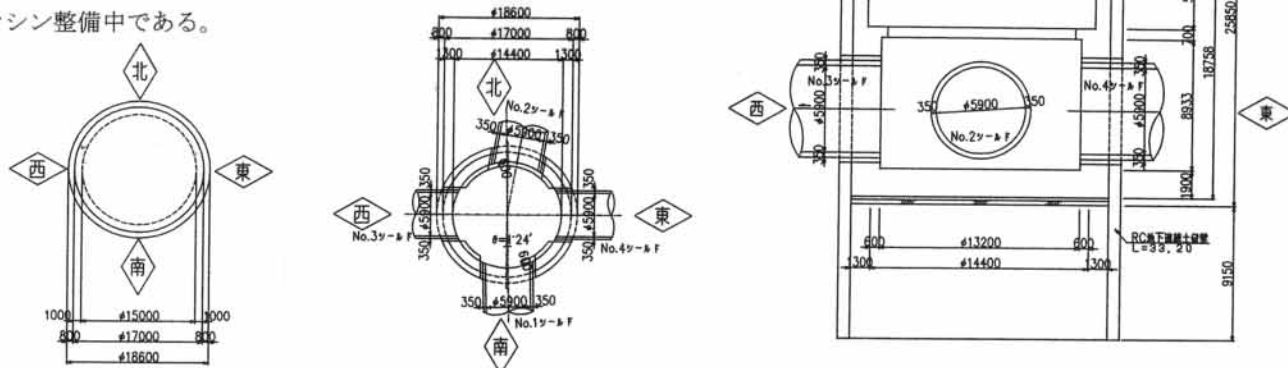


図-1 立坑縦断面図および水平断面

3. 解析方法

解析対象は、図-2に弾性床上梁モデルを図-3に三次元FEM解析モデルを示す。弾性床上梁モデルは、4方向開口による円形リングコンプレッション効果の度合いによりケースA～Cのモデル化を行った。また、三次元FEM解析では開口による影響度合いを比較するため、ケースDとして“開口しない場合”ケースEとして“開口した場合”の2ケースで検討した。

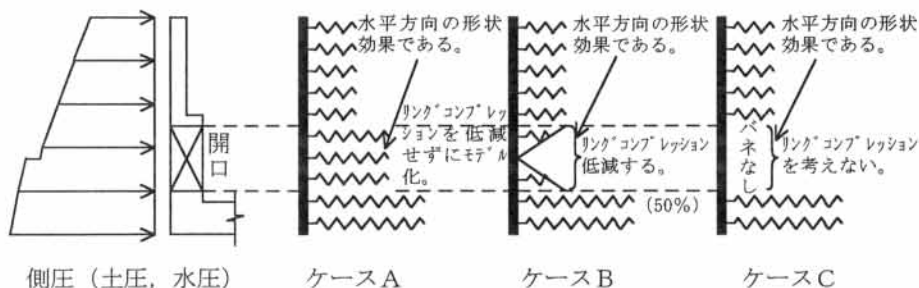


図-2 弾性床上梁モデル

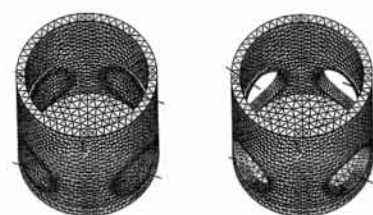


図-3 三次元FEM解析モデル

キーワード：円形立坑，4方向開口，リングバネ，形状効果，有限要素法

連絡先：〒532-0004 大阪市淀川区西宮原1-8-29 Tel 06-6393-1134 Fax 06-6393-1144

4. 解析結果

図-4にケースA～Eの立坑側壁の水平変位を示す。これより以下の傾向が見られる。

- (1) ケースA～Eいずれのケースもほぼ固定支持と考えられる底版部での変位は微少である。
- (2) 弾性床土梁モデルのケースA～Cでは、リングコンプレッション効果の低減の有無に関わらず、側圧の増加に伴い部材の水平変位が増大する。その傾向は三次元FEM解析モデルのケースD、Eでも同様であるが、高い三次元効果が見られ水平変位はケースA～Cに比べ絶体量として小さく 1/10～1/3 程度に収まっている。
- (3) 次に、弾性床土梁モデルのケースA、B、Cを比較すると各ケースの水平変位差はリングコンプレッション効果の大小によるものである。その相対変位は表-1に示すとおり、リングコンプレッション効果の低減率に比例し発生する。また、その開口影響範囲はD/2 (Dは開口径) 程度である。
ところが、三次元FEM解析のケースDとEの比較では、4方向開口による剛性低下が顕著に見られ、水平変位の比率は表-1に示すとおり 2.52 と非常に大きい。

これは、開口部でのリングコンプレッション効果がほとんど無くなったと考えるべき値である。

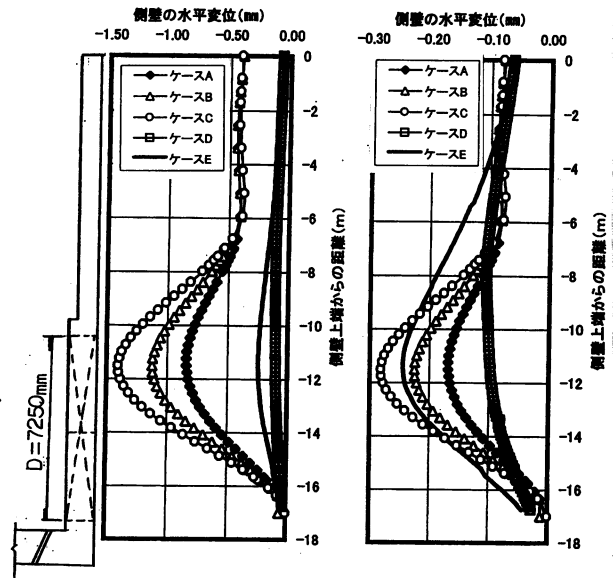


図-4 各ケースの側壁水平変位計算結果

図-5 フィットting計算結果

5. フィットting結果

次に図-4の結果より開口部の影響をほとんど受けない側壁0m～6mまでの水平変位に着目すると弾性床土梁モデルの水平変位と三次元FEM解析モデルの水平変位では、約5倍の差が発生している。これより $k = EA/r^2$ より算出されるリングバネを5倍して計算したケースA～Cと補正しないケースD、Eの結果を図-5に示す。

これより、ケースEの水平変位がケースBとCの中間値程度となる。つまり無開口部のリングバネは算出式の値よりも5倍程度強いが開口部でのリングバネ効果は、ほとんどないと考えられる。

表-1 立坑鉛直部材の最大水平変位

モデル	弾性床土梁モデル			三次元FEM解析モデル	
計算ケース	ケースA	ケースB	ケースC	ケースD	ケースE
最大変位	0.839 mm	1.121 mm	1.402 mm	0.098 mm	0.247 mm
相対変位	—	B-A=0.282 mm	C-B=0.281 mm	—	E/D=2.52
地 点	開口部上部付近	開口部上部付近	開口部上部付近	開口に関係なく 上部～底版付近 まで、ほぼ一様に	開口部上部付近

6. まとめ

各モデルでの解析値を比較した結果、以下の知見が得られた。

- 結果として、弾性床土計算（ケースA～C）での変位は、三次元FEM計算（ケースD、E）よりも大きく弾性床土梁計算で用いた $k = EA/r^2$ で算出されるリングコンプレッション効果はさらに大きな効果があると考えられる。ただし、当該工区立坑の開口は対線系に開口し、また、同一径の開口であることが部分的な応力集中とならず、リングコンプレッション効果が、ほぼ均一に作用したからであると考えられるのである。
- 当該工区のような4方向に開口する立坑では、開口部のリングコンプレッション効果がないものとしてケースCにて断面決定する方法が従来のであったが、4方向に開口する場合でも三次元FEM計算（ケースE）により開口部のリングコンプレッション効果が無くなったとしても、その上部、下部の三次元効果により変位が小さくなっていることが確認できた。
- 今後、弾性床土計算で部材三次元効果を評価する場合には、リングバネの算出と開口によるリングバネ低減率の組み合わせを考慮する必要があると思われる。

参考文献

- 1) (財) 先端建設技術センター：大深度土留め設計・施工指針（案），1994年10月