

開口を有する円形立坑の開口位置によるせん断耐力への影響に関する一考察

(株)大林組 正会員 ○久末 賢一
 (株)大林組 非会員 西澤 一志
 (株)大林組 正会員 佐藤 清

1. はじめに

開口を有する立坑では、開口により断面が欠損することでせん断力に抵抗する部材が減少するため、開口部以外の残存断面により必要なせん断耐力を確保する必要がある。特に、せん断力が作用する方向と平行な壁が両側とも開口により欠損した場合には、せん断力に対して抵抗する部材がなくなり、従来の設計法では構造的に成立しなくなる。そのため、著者らはせん断力が作用する方向と平行な壁の両側に開口を有する円形立坑を対象として、3次元の材料非線形解析により、せん断耐力の評価を試みてきた¹⁾。文献1)では開口位置を立坑下部に限定したが、開口の位置によりせん断耐力が異なる可能性がある。そこで本稿では、開口位置によるせん断耐力への影響に関して、3次元材料非線形解析により検討した結果を報告する。

2. 検討概要

(1)解析モデルの概要

本研究ではコンクリートをソリッド要素、鉛直鉄筋および水平鉄筋を分散鉄筋要素でモデル化し、材料非線形有限要素解析(FINAL-GEO²⁾)によりせん断破壊までの挙動を把握した。解析モデルの概要を図1に示す。解析モデルの頂部および底部については、境界部における応力集中による過度な損傷を避けるために弾性要素を用いた。弾性要素はコンクリートと同様の材料特性を用い、線形要素とした。コンクリートの非線形要素の圧縮モデルには、修正 Ahmad モデル³⁾を適用し、引張モデルの軟化勾配は鉄筋との付着が影響する領域と影響しない領域とに分割して設定した。前者の鉄筋との付着が影響する領域には出雲モデル⁴⁾を適用し $C=0.4$ とした。後者の鉄筋との付着が影響しない領域には、コンクリート標準示方書⁵⁾に準じて破壊エネルギーに基づく引張軟化曲線を用いた。ひび割れ後のせん断伝達特性については、Al-Mahaidi モデル⁶⁾を適用した。鉄筋の非線形要素のモデル化は降伏強度($f_y=345\text{N/mm}^2$)を折れ点とする bi-linear モデルを用いた。

(2)境界条件および荷重条件

立坑のせん断耐力(以下、耐力)の評価を目的としているため、曲げ破壊先行とならないように、解析モデルの頂部の鉛直方向の変位を拘束した。解析モデル底面は固定した。せん断ひび割れが生じ剛性が変化するまで、モデル頂部の節点に集中荷重を作用させた後、破壊まで強制変位を与えた。

(3)検討ケース

コンクリート強度は 40N/mm^2 、鉛直鉄筋比は 1.35%、せん断スパン比は 2.27、立坑外径は 13.5m、せん断補強筋比は 0.46%とし、全ケースで同様とした。また、開口は幅 3.2×高さ 2.8m とし、開口の位置は図1に示す距離 a を表1に示すように変えてそれぞれの耐力を算出した。

3. 検討結果

図2に荷重変位関係を示す。図に示す荷重は、底版コンクリートに発生するせん断応力に各コンクリート

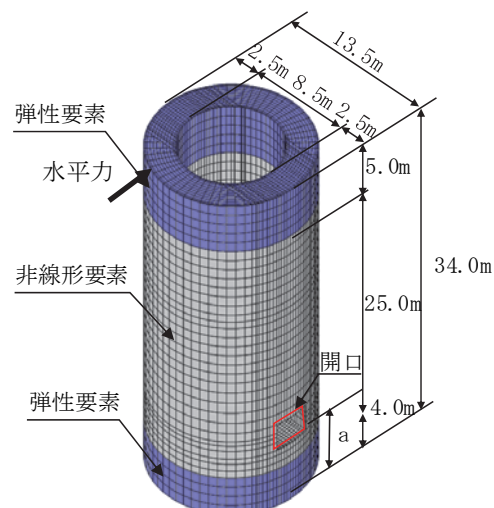


図1 解析モデルの概要

表1 開口～モデル下端までの距離 a

	ケース①	ケース②	ケース③
前面側	6.1m	15.0m	23.9m
背面側	6.1m	6.1m	6.1m

要素の断面積を乗じて合計して求めた。図2に示すように、ケース①～ケース③では最大荷重の値が概ね同様になることが確認できる。図3および図4に最大荷重時のコンクリートの最小主応力分布および水平方向鉄筋の応力分布を示す。図に示すように、ケース①の開口が立坑下部にある場合には立坑の右上から左下にかけてコンクリートの最小主応力が大きくなっており、当該箇所を沿って水平方向の鉄筋応力が大きくなっていることが確認できる。このことより、図に示すようなトラス機構（図中青線：圧縮材，赤線：引張材）が形成されていると考えられる。ケース③の開口が上部にある場合にも、同様にしてトラス機構が形成されている。一方でケース②の開口が立坑の中央にある場合では、開口を避けるようにして立坑の右上から左下にかけてコンクリートの最小主応力が大きくなっている箇所があり、当該箇所を沿って水平方向の鉄筋応力が大きくなっている。このことから開口が立坑の中央部にある場合にも、開口が上部や下部にある場合と同様にしてトラス機構が形成されていると考えられる。このように、トラス機構が形成されることにより、開口が上部および下部にある場合と概ね同等の耐力が、開口が中央にある場合においても確保できたものとする。ただし、図3に示す赤丸で囲った箇所のように開口の隅角部では開口の変形により圧縮応力が大きくなるため、立坑中央部における開口が大きい場合には当該箇所の損傷により耐力が大きく低下する可能性があると考えられる。

4. おわりに

開口を有する立坑について、開口位置によるせん断耐力への影響を解析的に評価した。その結果、開口が中央に位置する場合でも、開口が上部もしくは下部にある場合と概ね同等の耐力が得られることが確認できた。ただし、開口の位置の影響は開口の大きさに依存すると考えられるため、耐力評価の際には注意が必要である。

参考文献

- 1)久末賢一，西澤一志，佐藤清：材料非線形解析を用いた開口を有する円形立坑のせん断耐力の評価方法に関する一考察，第37回地震工学研究発表会概要集，2017.
- 2)米澤健次，渡辺伸和：地盤・構造物系の大規模・高速化非線形FEM解析技術「FINAL-GEO」，電力土木，No.387，pp.156-158，2017.
- 3)長沼一洋：三軸圧縮化のコンクリートの応力～ひずみ関係，日本建築学会構造系論文集，第474号，pp.163-170，1995.
- 4)出雲淳一，島弘，岡村甫：面内力を受ける鉄筋コンクリート板要素の解析モデル，コンクリート工学，Vol25，No.9，pp.107-120，1987.
- 5)土木学会：コンクリート標準示方書，pp.37-38，2012.
- 6)Al-Mahaidi, R.S.H. : Nonlinear Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Deep Members, Report 79-1, Cornell Univ Dept. of Structural Engineering, 1979.

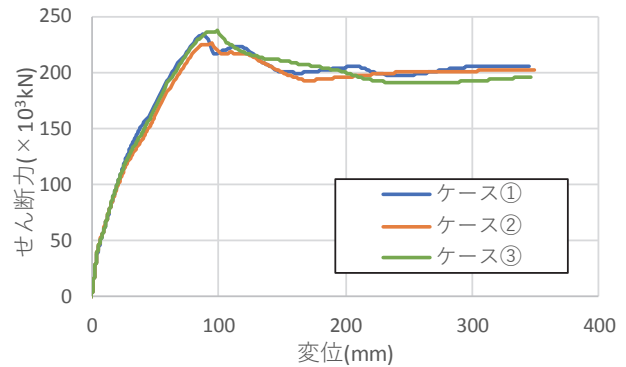


図2 荷重変位関係

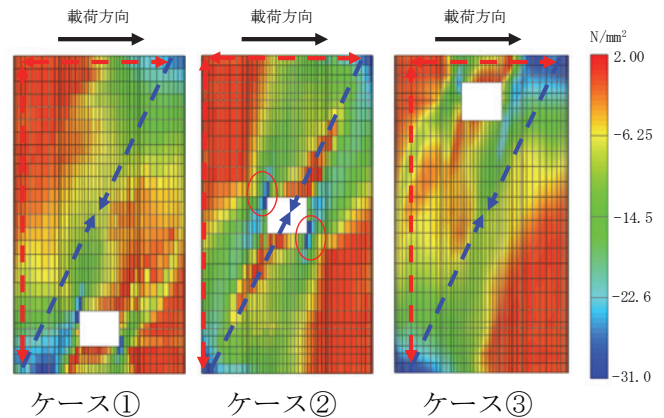


図3 コンクリートの最小主応力分布

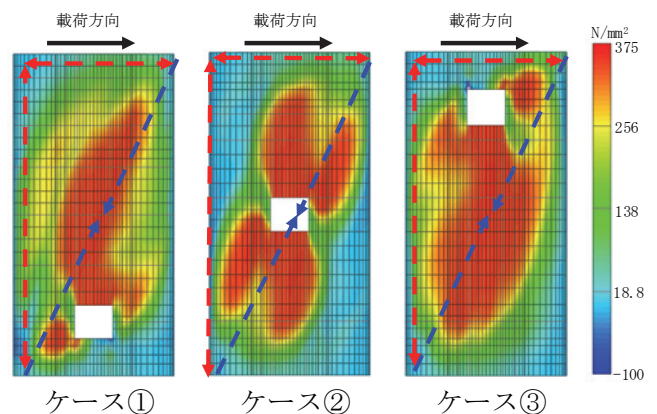


図4 水平方向鉄筋の応力分布