竹割り型土留め工法の遠心模型実験結果に関する考察（その２）
―遠心模型実験結果に対するFEMシミュレーション解析―

日本道路公団（ＪＨ）試験研究所　(正)緒方健治　(正)松山裕幸　(正)佐藤亜樹男
大林組技術研究所　○(正)山本　彰　(正)稲川　雄宣

１．はじめに

この報告では前報[1)]で述べた竹割り型掘削の遠心模型実験結果に対するFEM解析を実施し、解析モデルの検証を行うとともに、塑性域と実験時の崩壊形態との関連性について検討している。また、実施工を模擬した逐次掘削のFEM解析を実施し、竹割り型土留め工法の設計法[2)](以下、設計法という。）で仮定しているゆるみ域および安全管理値として規定している見掛けのせん断ひずみについて考察している。

２．解析方法

図-1は解析に用いたFEMメッシュを示しており、解析は実験時の円筒模型の半断面について実施した。解析方法は３次元弾塑性解析であり、境界条件は側面の鉛直方向を自由、水平方向を固定とし、底面は鉛直方向、水平方向とも固定とした。地盤はDrucker-Prager modelを用い、３次元ソリッド要素によってモデル化した。表-1は解析定数を示しており、解析定数は模型地盤より採取したサンプリング試料に対する室内要素試験によって求めた。

解析ケースは、遠心模型実験結果に対する解析（解析ケース1）と実施工を模擬した逐次掘削解析（解析ケース2）の２ケースである。逐次掘削解析では遠心模型実験時の相似率が1：25であることから、遠心加速度25Gに相当する自重を与えた後、８ステップに分けて竹割り型掘削部分の要素を段階的に除去し、掘削を模擬した。

３．実験結果

図-2は遠心模型実験とFEM解析で得られた各断面の壁面部の水平変位と遠心加速度の関係を示しており、LH3では実験結果と解析結果でやや差異が見られるものの、全体的に実験結果と解析結果はよく対応している。図-3は解析で求めた遠心加速度15G、25G、32Gにおける塑性域の分布を示している。この図から、塑性域は遠心加速度15GでR0断面の法尻付近とR90断面の法肩部において発生し、その後遠心加速度25G、32GではR45断面やR90断面の背面側に大きく拡大している。前報で述べたように、遠心模型実験ではR0断面の法尻～中腹付近で最初に崩壊が発生し、徐々に崩壊の範囲がR0断面からR90断面の広範囲に拡大することが確認されており、解析結果は概ね実験時の崩壊形態とよく整合している。これらのことから、解析モデルは実験時の変形挙動や崩壊形態の進展をよくシミュレートしていると言える。

図-4は解析ケース2で得られた掘削高さと水平変位の関係を示している。法肩の水平変位はいずれも掘削に

表-1 解析定数

単位体積重量	γt	(kN/m3)	18.24
弾性係数	E	(kN/m2)	12,500
ポアソン比	ν		0.25
内部摩擦角	ϕ	(度)	35.6
粘着力	c	(kN/m2)	6.0

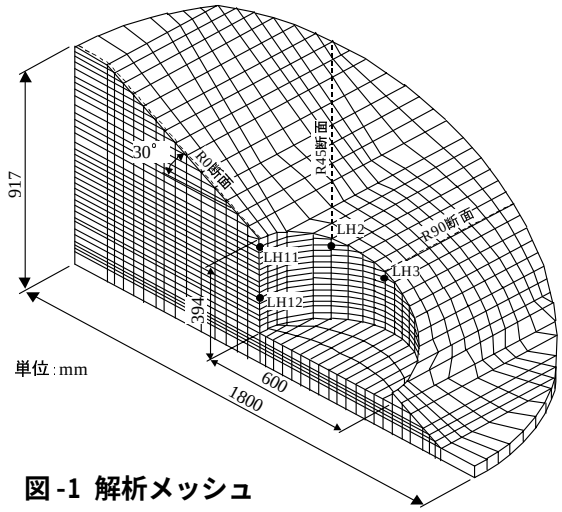


図-1 解析メッシュ

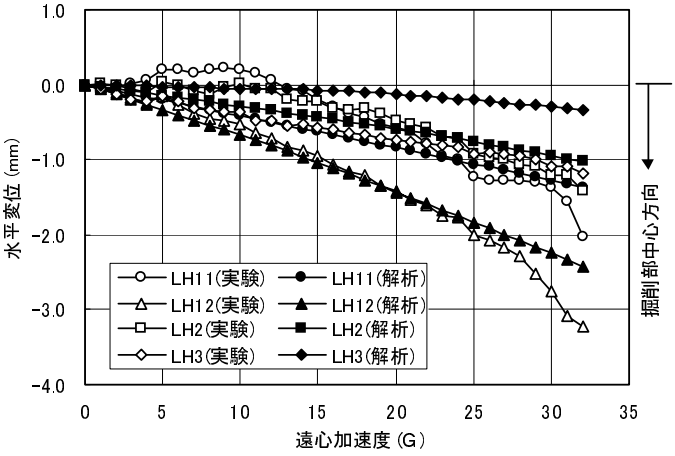
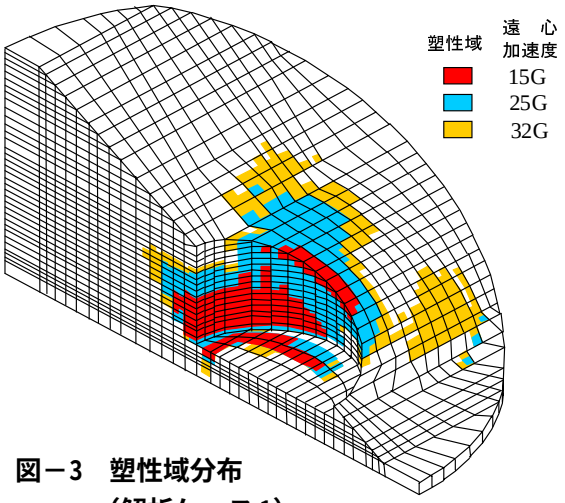
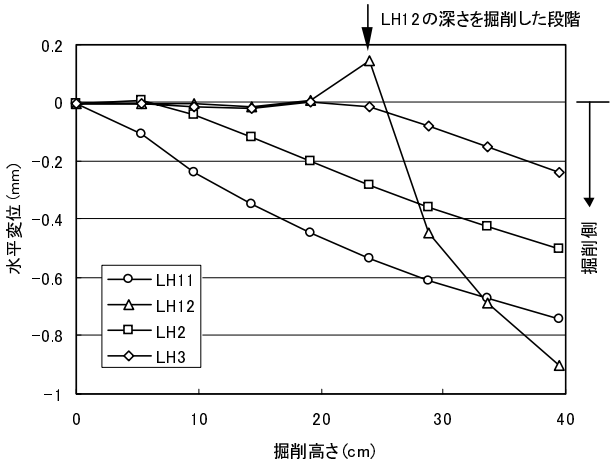


図-2 遠心模型実験と解析結果（解析ケース1)の比較

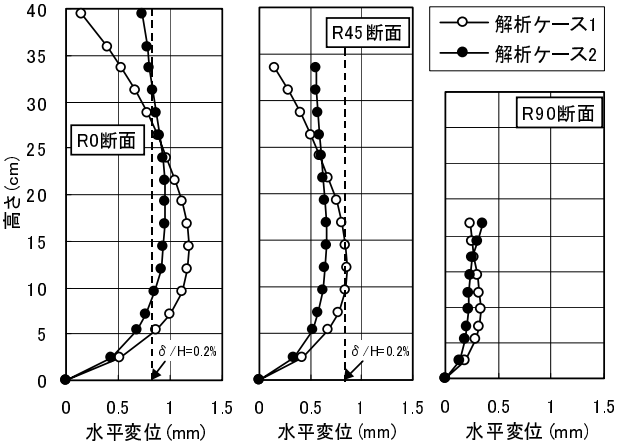
キーワード：竹割り型土留め工法、遠心模型実験、FEM解析、三次元解析、逐次掘削
連　絡　先：東京都清瀬市下清戸4-640　TEL.0424-95-0910　FAX.0424-95-0903



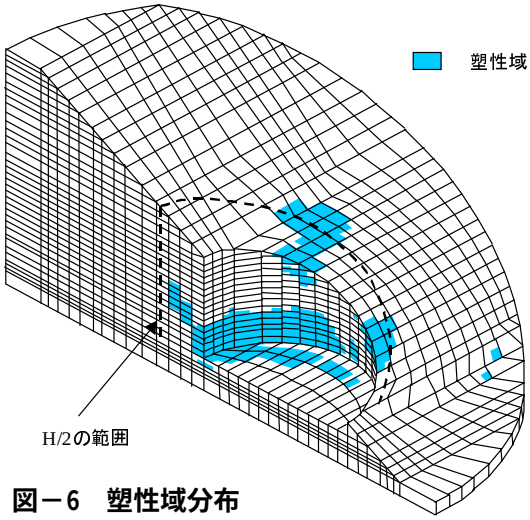
図－3　塑性域分布（解析ケース1）



図－4　掘削高さと水平変位の関係（解析ケース2）



図－5　竹割り土留め壁の変位分布の比較



図－6　塑性域分布（解析ケース2、掘削終了後）

伴って線形的に増加するのに対して、中腹の変位（LH12）は掘削がLH12の深さに達した直後に掘削側に大きく変位している。このように中腹の変位は掘削直後に大きく増加することから、竹割り型掘削の計測管理に当たっては施工前に地中変位計等を掘削背面に設置して、掘削に伴う変位計測を逐次行う必要があると考えられる。

図-5は解析ケース1、2の各断面の壁面部における水平変位分布を示しており、図中には設計法で規定している見掛けのせん断ひずみδ/Hの管理基準値(警戒レベル：δ/H=0.2%）も併せて示している。この図から、解析ケース2の変形は概ね中腹から上端部において一様な変位分布となっているが、解析ケース1ではH/3付近の変位が最も大きい「中はらみ」の分布となっている。なお、解析ケース2のR0断面の変形はほぼ警戒レベル程度となっている。

図-6は解析ケース2の掘削終了後における塑性域を示している。図中には設計法で想定しているゆるみ域の範囲（法肩からH/2の範囲）を併せて示しており、塑性域は概ね設計法で想定しているゆるみ域の範囲内で生じている。

図-5のR0およびR45断面のケース2と図-6から、図-6の塑性状態は見掛けのせん断ひずみδ/H=0.2%状態に対応している。また、図3と図-6から、図-6の塑性域は遠心模型実験における崩壊時の遠心加速度32Gに対して図-3の15～25Gと同程度となっており、図-6の地盤状態は塑性域が拡大する初期段階に対応していると考えられる。これらのことから、設計法で規定している見掛けのせん断ひずみδ/H=0.2%は施工時の警戒レベルを示す指標として概ね妥当と考えられる。

4．おわりに

得られた結果は以下の通りである。1)FEM解析で求めた塑性域の進展状況は実験時の崩壊形態とよく整合しており、解析モデルの適用性が検証できた。2)塑性域は壁面高さの1/2の範囲で発生しており、設計法で規定しているゆるみ域（H/2）の範囲と整合する結果が得られた。3)設計法で安全管理値として規定している見掛けのせん断ひずみδ/H=0.2%は施工時の警戒レベルを示す指標として妥当と考えられる。

参考文献　1)佐藤ら：竹割り土留め工法の遠心模型実験結果に関する考察（その１）、第58会土木学会年次学術講演会,2003（投稿中）2)佐藤ら：地山補強土工法を用いた新しい構造物掘削工法－竹割り型土留め工法－，基礎工，Vol.30，No.10，2002