丸太打設軟弱地盤対策における丸太頭部の充填材に関する数値解析的検討

東北学院大学　○正会員　千田　知弘　　飛島建設(株)　正会員　沼田　淳紀　正会員　村田　拓海
西松建設（株）（研究時・東北学院大学 4 年）　非会員　鈴木　雅紀

1. はじめに

深刻化する気候変動への対応，現在飽和状態である日本の森林資源，持続可能な発展を実現させる技術の必要性といった観点から，著者らは，地盤の軟弱地盤化対策に国産木材を利用し開発展開を行っている[1]．その一つとして，戸建住宅の軟弱地盤対策として丸太を打設し地盤を補強する工法を開発し，これまでに実大試験による検討や FEM による数値解析による検討が行われている[2]．丸太打設による軟弱地盤対策では，丸太の腐朽対策，および，基礎底版への大きな応力集中防止のために，丸太頭部を地下水位まで下げ，この間を砕石で充填している．ここでは，砕石のヤング率，砕石長さに焦点を当て，それぞれの組み合わせが沈下量にどのように影響を与えるかを FEM 解析でシミュレートし，実験と比較した結果を報告する．

2. 対象モデルおよび FEM 解析モデル

FEM 解析モデルは，軟弱地盤に丸太を打設し大型平板載荷試験[3]を実施したモデルを対象に，ボーリング調査結果を基に作成した．地盤モデルの横断面図を**図-1** に，平面図を**図-2** に示す．なお，解析では，対象条件から 1/4 解析とするため，**図-1** は**図-2** 中に点線で示した位置の横断面図となる．大型平板載荷試験は，末口径約 φ200mm，長さ 6m の丸太を 1.2m 間隔で 7 列×7 列＝49 本打設し，3.6m×3.6m×0.21m のコンクリートスラブを介して載荷し実施した．丸太は，地表よりも 1m 深く打設し，砕石を充填している．**図-2** に示すように，コンクリートスラブの外側に丸太が 2 列配置されるモデルとなっているため，このモデルを「外周 2 列モデル」と呼ぶ．また，実験では丸太を打設しないモデルも実験されており，以後，「無対策モデル」と呼ぶ．

砕石のヤング率が小さい場合，丸太への力の伝達が弱くなり，丸太の打設効果は低下し，沈下量が増加すると推察される．一方で，砕石のヤング率が大きい場合，丸太により多くの力が伝達されると考えられ，この場合基礎底板に応力集中が生じるとともに，地盤の荷重負担が減少し，設計に地盤の抵抗力を期待できなくなる．よって，丸太と地盤が効率的に荷重を負担するよう，充填深さと砕石のヤング率のバランスを明らかにする必要がある．そこで本研究では，砕石の充填深さを 0.5m，1.0m，1.9m，2.5m の 4 種類，砕石のヤング率を 5MPa，12MPa，50MPa，100MPa を 4 種類とし，それぞれを組み合わせた計 16 種類のモデルを作成し，FEM 解析を行った．

FEM 解析モデルを**図-3** に，解析に用いた材料定数を**表-1** に示す．ここでは，地表面付近のヤング率を実験時の盛土に合わせたためかなり小さいヤング率としているが，実際には地表面付近は硬い場合が一般的である．丸太は正 22 角柱でモデル化し，要素は 4 面体 10 節点 30 自由度のソリッド要素を用

表-1　解析に使用した材料定数

土質名	変形係数 E (MPa)	せん断弾性係数 G (MPa)	ポアソン比 ν	密度 ρ_t (t/m^3)
盛土	2.0	0.8	0.300	1.520
砂礫混り粘土	2.7	0.9	0.499	1.405
粘土混り砂	2.7	0.9	0.499	1.405
粘土質シルト1	2.7	0.9	0.499	1.330
粘土質シルト2	2.4	0.8	0.499	1.281
粘土質シルト3	2.4	0.8	0.499	1.303
粘土質砂	5.0	1.9	0.300	1.517
シルト質粘土	6.6	2.2	0.499	1.472
砂混り粘土	6.6	2.2	0.499	1.472
細砂	19.6	7.5	0.300	1.850
基盤層	100.0	40.0	0.250	1.880
砕石	12.0	4.6	0.300	2.100
丸太	Ez=7500 Ex=Ey=Ez /25	Gxy=Gyz= Gzx= Ez /15 =400	νxy= νxz = νyz = νyx =0.016 νzx = νzy =0.4	0.39
コンクリートスラブ	25000	10000	0.25	2.5

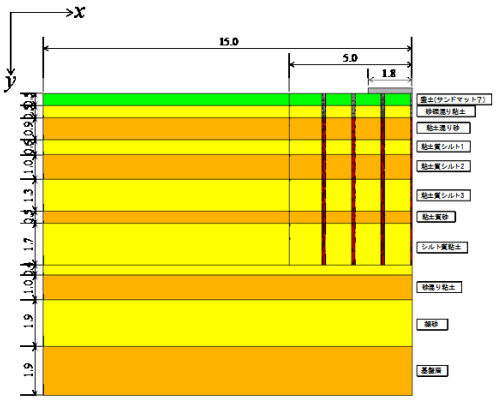

図-1　横断面図（単位：m）

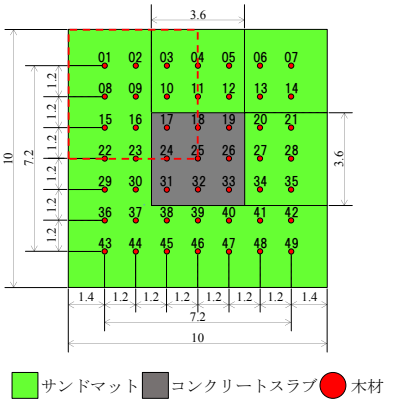

図-2 平面図(単位：m)

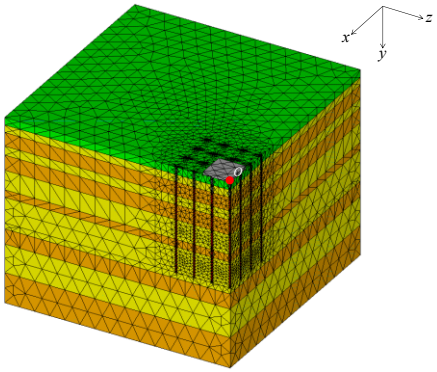

図-3　要素分割図

キーワード　丸太，軟弱地盤，戸建住宅，ＦＥＭ
連絡先　〒985-8537 宮城県多賀城市中央一丁目 13-1　TEL 022－368－7418

© Japan Society of Civil Engineers

い，1 辺 0.2m で自動生成した．地盤にもソリッド要素を用い，1 辺 0.5～1.0m で自動生成した．境界条件は，スラブ中央を通る *xy* 平面上の全ての節点の *z* 方向変位を拘束，スラブ中央を通る *yz* 平面上の全ての節点の *x* 方向変位を拘束，モデル底面上の全ての節点の *y* 方向変位を拘束した．載荷は，コンクリートスラブ上面に等分布荷重として 10kN/m^2 を与えて解析を行った．

3. 結果と考察

FEM 解析から得られた各モデルの充填材長さ-沈下量関係を**図-4** に，側面から見た充填長さ 0.5m，砕石のヤング率 100MPa のモデル（以後 D0.5E100 モデル）の *y* 方向応力分布を**図-5** に，充填長さ 2.5m，砕石のヤング率 5MPa のモデル（以後，D2.5E5 モデル）の *y* 方向法力分布を**図-6** に示す．**図-4** 中の点線は載荷試験が行われた外周 2 列モデルと無対策モデルの実験値の沈下量である．**図-4** を見ると，同じ充填長さ同士のモデルでは，ヤング率が小さいほど沈下量が増加し，同じヤング率同士のモデルでは，充填長さが増加するほど沈下量が増加する傾向が見て取れるが，ヤング係数で 20 倍，砕石長さで 5 倍の違いがある割には沈下量の差は僅かである．なお，実際の地盤のように表層にやや硬い層が存在すると，沈下量はさらに小さくなる．さらに詳しく見ていくと，最も沈下量が多いヤング率 5MPa のモデルの沈下量と最も少ないヤング率 100MPa モデルの沈下量に関し，充填長さ毎の相対誤差（(ヤング率 5MPa の沈下量 - ヤング率 100MPa の沈下量）/ヤング率 100MPa の沈下量）を比較すると，充填長さ 0.5m で 27.7%，1.0m で 22.0%，1.9m で 19.1%，2.5m で 18.2%と，充填材が長くなるほど減少し，減少率が小さくなることが分かる．これは，充填材が長くなるほど，砕石のヤング率の違いによる沈下量の差が小さくなることを示す．

沈下量の最も小さい D0.5E100 モデルと最も大きい D2.5E5 モデルの *y* 方向応力分布を比較すると，図中赤枠で記した箇所と，青枠で示した箇所で分布に大きな差が生じていることが分かる．赤枠箇所の応力分布を比較すると，D2.5E5 モデルにおいては，スラブ下の地盤に大きな圧縮応力が生じているのに対し，D0.5E100 モデルにおいては，半分以下の応力しか生じていない．一方，青枠箇所の応力分布を比較すると，D0.5E100 モデルにおいては木材の下端部から下部の地盤に広範囲に渡って高い圧縮応力分布が生じているのに対し，D2.5E5 にはその半分程度の値しか生じていない．つまり，沈下量の少ないモデルほど，丸太を介して，地盤の深部に力を伝えていることが示された．なお，本稿では，他のモデルの応力分布は割愛しているが，沈下量の大きいモデルほど赤枠箇所の地盤の応力が大きくなり，逆に青枠位置の地盤の応力が小さくなることを確認している．

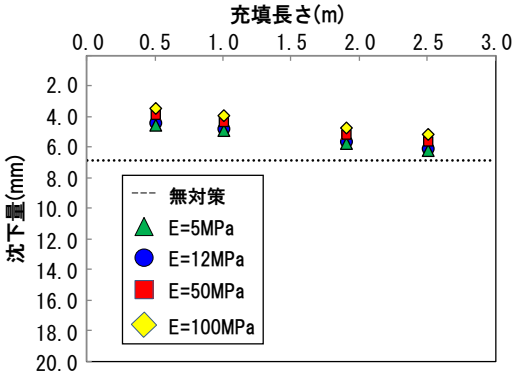

図-4 充填深さ-沈下量関係（10kN/m^2 載荷時）

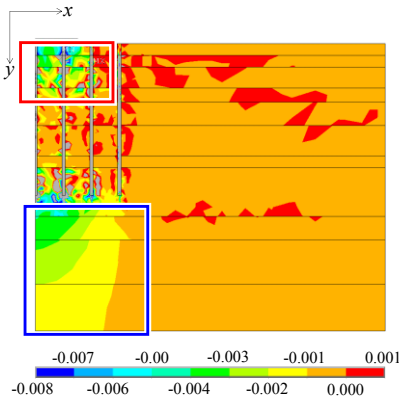

図-5 D0.5E100 モデルの *y* 方向応力分布（単位：MPa）

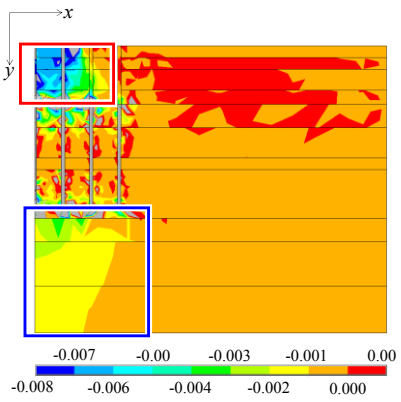

図-6 D2.5E5 モデルの *y* 方向応力分布（単位：MPa）

4. まとめ

本研究では，戸建住宅の軟弱地盤対策として丸太を杭として活用する研究群の一つとして，木材の腐朽対策に使用する砕石の充填深さとヤング率の違いが，沈下量にどのように影響するかを FEM 解析でシミュレートした．砕石のヤング率が小さいほど，充填材長さが増加するほど沈下量が増加すること示されたが，充填長さが大きくなるほど，ヤング率の影響は小さくなることが示された．また，沈下量の大きいモデルにおいては，丸太が打設されている位置より上部の地盤に高い応力が生じ，沈下量が小さいモデルにおいては，丸太の下部より下の地盤に高い応力が生じることが示された．

参考文献

1)沼田淳紀：地盤での木材利用による地球温暖化緩和策，地盤工学会誌，67-4(735)，pp.24-27，2019.
2)鈴木ら：FEM による丸太打設による戸建住宅の軟弱地盤化対策に関する基礎的研究，令和元年度土木学会東北支部技術研究発表会論文集（CD-ROM），2020.
3)沼田淳紀，村田拓海，佐々木修平，藤野一，川崎淳志，杉山耕平，林知行：丸太打設した軟弱地盤における大型平板載荷試験，第 55 回地盤工学研究発表会発表講演集，2019(掲載予定).

© Japan Society of Civil Engineers