

地盤改良 砕石 柱状改良 地価

概要

近年、建築物の解体に伴い、その建築物を支持するための地盤改良や杭の撤去工事が増加してきている。著者らが開発したエコジオ工法は、自然砕石を用いて地中に柱状の砕石補強体を築造する地盤改良工法であり、自然砕石のみを使用しているため、土地の再利用時の地盤改良工事において、砕石補強体が残存した状態で施工できる可能性が考えられる。

本報では、エコジオ工法で築造した砕石補強体が存在する地盤へ、戸建て住宅で一般的に用いられる深層混合処理工法（以下、柱状改良）を施工した際に、施工時や築造した改良体の品質に及ぼす影響について検証を行った結果について報告する。

試験方法

試験は三重県松阪市で行った。試験地盤は深度 5~6m 以浅においてスウェーデン式サウンディング試験の結果が $N_{sw} \leq 20$ 程度を示す砂質土である。試験は図 1 に示す位置にまずエコジオ工法で砕石補強体を築造し、その後柱状改良の施工を行った。エコジオ工法は、小型の専用地盤改良機により、地盤内にケーシングを所定の深度まで挿入した後、ホッパーを用いてケーシング内に砕石を投入しながら、先端スクリューで砕石を連続的に締固めて直径 420mm の砕石補強体を築造し、原地盤の支持力と複合させて支持する地盤改良工法である。使用した砕石は、粒径が 30mm ~20mm で、改良深度は 5m とした。柱状改良はシングル施工で、直径 500mm、セメントの配合量を 300kg/m^3 、水セメント比を 60%、施工深度を 5m、羽切回数を 450回/m 以上、設計で用いる変動係数を 45% とした。

試験ケースは、柱状改良体と砕石補強体の位置が施工に及ぼす影響を評価するため、杭体同士が外周で接する

接円、半分だけ被るラップ、両方の杭芯が一致する同心、完全に離れている標準とした。また、柱状 4 と柱状 5 は、柱状改良を砕石補強体にラップしながら施工することで、施工中にセメントスラリーが砕石補強体へ流入し、改良体が固化不良となる可能性が考えられたため、柱状 4 はセメントの使用量を柱状改良体の体積のみとした量、柱状 5 は砕石補強体の体積も考慮した量とした。

検査内容

築造した柱状改良体の品質が確保されているか確認するため、(財)日本建築センターと NPO 住宅品質協会の基準^{2),3)}を基に表 1 の項目について検討を行った。施工管理は、施工管理装置により記録を行い、杭芯の位置はトータルステーションで計測した値が基準を満たしているかの確認を行った。また、柱状改良体の全長にわたってコアボーリングを行い、その採取率で固化状況の確認を行うとともに、試験ケースごとに供試体を 1m 毎に 3 本、計 15 本の供試体について一軸圧縮試験を行った。また、比較のため柱状 1 と同量の配合量で配合試験を実施した。試験結果は、以下の式(1)、(2)を用いて合格判定値及び設計基準強度を定め、柱状 2~5 が標準施工の柱状 1 の設計基準強度を満足しているか、また築造した改良体の強度のばらつきが設計で想定する範囲内にあるかの確認を行った。

$$F_c = q_{ud} \cdot (1 - 1.3V_d) \tag{1}$$

$$X_L = F_c + k_a \cdot V_d \cdot q_{ud} \tag{2}$$

F_c : 設計基準強度, X_L : 合格判定値, q_{ud} : 配合強度, V_d : 変動係数, k_a : 抜き取り箇所数によって決まる合格判定係数

さらに、杭体の周囲を施工時 GL から深度 2m まで掘削し、柱状改良体の地中での施工状況の確認を行った。最後に、杭体を完全に掘り起こした状態での形状等の確認を行った。

表 1 検査項目

項目	基準または確認方法
施工管理	掘削深度、羽切回数、スラリーの吐出量が設定値以上
杭頭杭芯位置	施工前後の杭芯位置のずれが X、Y 方向に対して 100mm 以内
出来形	杭頭の直径が 500mm 以上
固化状況	コア採取率が全長で 95% 以上かつ 1m 当り 90% 以上、強度試験結果及び掘り起こした改良体の観察
一軸圧縮試験	平均現場一軸圧縮強さが合格判定値以上かつ、現場一軸圧縮強さの最小値が設計基準強度以上

結果・考察

施工は、全てのケースにおいて掘削中の異音や攪拌速度や施工速度の著しい低下等の施工中の異常は確認されなかった。柱状改良の施工時間は、砕石補強体の有無に

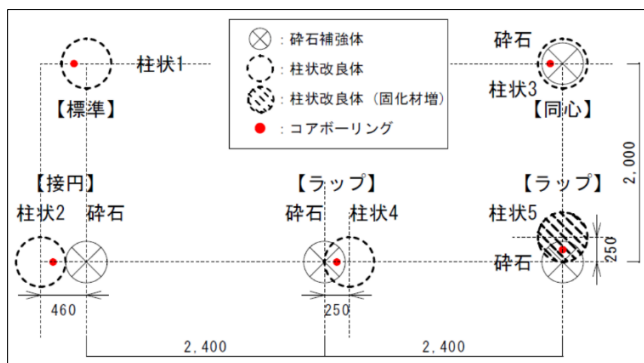


図 1 施工配置図

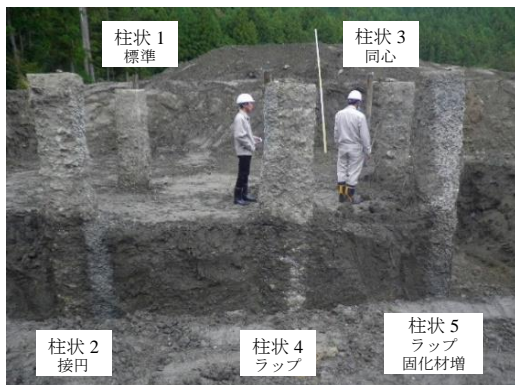


写真1 GL-2m掘削状況

関わらず 12 分程度で終了しており大きな差は見られなかった。また、施工後の杭径は 500mm であり、計測した杭芯ずれは、いずれも 100mm 以内で基準を満たしていた。

写真1に各改良体のGLから2m掘り下げた時の状況を、写真2に掘り起こした各柱状改良体を示す。写真1, 2の柱状改良体の外観から施工が鉛直に行われたと考えられた。また、柱状3は碎石補強体を完全に取り込んで施工したため、標準施工の柱状1と同じような円柱状で掘り起こされているものの、柱状1と異なり改良体に碎石が多数存在していた。柱状2, 4, 5は柱状改良体の側面に碎石が固まった状態で張り付いており、セメントスラリーが施工中に碎石補強体へ流入し固化した様子が伺える。

柱状改良体の図1に示す位置でコアボーリングを行った結果、採取率は全てのケースにおいてほぼ 100%であった。表2, 3に室内配合試験と柱状改良体から作成した供試体の一軸圧縮試験の結果を、また深度別の一軸圧縮強さを図2に示す。なお、材齢はいずれも44日とした。式(1), (2)から設計基準強度 F_c を 1.3MN/m^2 と仮定すると、必要な配合強度 q_{ud} は 3.13MN/m^2 となる。表2から、室内配合試験の平均強度は 3.28MN/m^2 であり、この基準を満足すると考えられる。また、表3のいずれのケースにおいても平均強度は合格判定値 X_L の 3.98MN/m^2 以上であり、最小値においても設計基準強度以上であることから、品質管理基準を満たしていると考えられ、コアの採取率と強度試験の結果及び改良体の観察結果から固化不良は起きていないと考えられる。

また、強度は柱状1 \sim 柱状2 $<$ 柱状4 $<$ 柱状5 $<$ 柱状3の関係が見られ、同じラップの柱状4と柱状5では、セメント量の多い柱状5の強度が大きく、全てのケースの中で同心の柱状3の強度が最も大きい結果となった。これは柱状改良体内部に取り込まれた碎石が、改良体の強度を高めたためと考えられる。4m以深では柱状2 \sim 5の強度が大きくなっており、柱状改良の深部の施工で繰り返しを行ったことでセメントと碎石が混ざり合って強度が大きくなったと考えられる。



写真2 掘り起こした柱状改良体

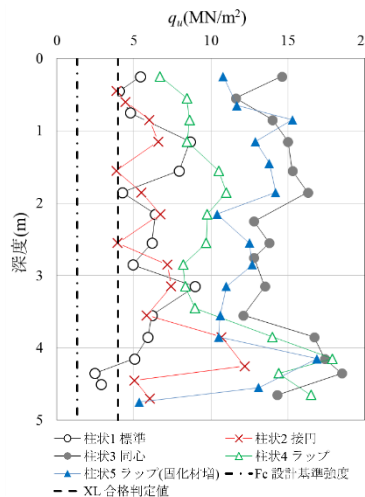


図2 深度別の圧縮試験結果

表2 室内配合試験結果

供試体 No.	室内配合試験 q_{ud} (kN/m ²)
1	3.06
2	3.53
3	3.26
平均	3.28

表3 現場一軸圧縮試験結果

試験 ケース	現場一軸圧縮強さ q_{uf} (MN/m ²)	
	平均	最小
柱状1	5.59	2.45
柱状2	6.36	3.85
柱状3	14.58	11.6
柱状4	10.76	6.69
柱状5	12.12	5.34

まとめ

本報で対象とした地盤条件において、エコジオ工法による碎石補強体が施工された地盤に柱状改良体の施工を行った結果、以下が明らかとなった。①碎石補強体の有無にかかわらず施工時間に大きな差はなく、碎石補強体がない地盤と同様な施工が可能であった。②柱状改良の芯ずれや鉛直性の低下等の施工精度への影響は見られなかった。③セメントスラリーは碎石補強体へ流入するものの、それによる柱状改良体の固化不良は生じなかった。④柱状改良体の強度は碎石を取り込むことで標準施工よりも大きくなった。

以上より、エコジオ工法による碎石補強体は柱状改良体の施工に影響がなく、品質低下の原因とならないことが確認された。

<参考文献>

- 尾鍋ら：碎石地盤改良における地盤改良率が支持力に及ぼす影響，第46回地盤工学研究発表会概要集，pp863-864，2011
- 財団法人日本建築センター：建築物のための改良地盤の設計および品質管理指針，pp277-353，2018
- 特定非営利活動法人住宅地盤品質協会：住宅地盤の調査・施工に関わる技術基準書，pp65-98，2016