

エコジオ工法による砕石補強体が地盤改良工事に及ぼす影響 ～品質について～

地盤改良, 砕石, 地価

(株)尾鍋組 正会員 ○大石新之介, 尾鍋哲也, 神村真
三重大学大学院 国際会員 酒井俊典

1. はじめに

エコジオ工法¹⁾で築造した砕石補強体がある地盤において、深層混合処理工法（以下、柱状改良）及び小口径鋼管杭（以下、鋼管杭）の施工を行った場合、砕石補強体が無い地盤と同様な施工が可能であることが明らかとなった²⁾。そこで本論では、地盤内に構築された柱状改良体及び鋼管杭が、標準的に施工された杭体と同等以上の品質を確保しているかどうかの検討を、地盤の掘り起こしによる地盤内の杭体の施工状況の確認、および柱状改良体からコア採取して行った一軸圧縮試験による強度比較から行った。

2. 事後検査

築造した柱状改良体及び打設した鋼管杭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^{3), 4)}を基に表 1 の項目について検討を行った。施工管理項目は、柱状改良体の施工深度、羽切回数、スラリー吐出量及び鋼管杭の施工深度で、それぞれが管理基準を満たしているかを施工管理装置の記録を基に確認を行った。杭芯のずれは、施工前後の杭芯位置をトータルステーションで計測し、品質管理基準である X, Y 方向が 100mm 以内であるかについて評価した。改良体頭部の杭径が 500mm 以上かどうかの確認は、杭頭に直接スケールをあてて測定した。また、柱状改良体については全長にわたってφ66mm のコアボーリングを行い、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うとともに、比較のため柱状 1 と同量の配合量でセメントと現場の土を室内で混合し、同期間養生した供試体についても一軸圧縮試験を実施した。コアボーリングの採取位置は、柱状改良体の中心から砕石補強体側へ 125mm 離れた位置で行った。一軸圧縮試験では、砕石補強体の影響が考えられる位置で築造した柱状 2～5 が、影響のない標準施工の柱状 1 の設計基準強度を満足しているか確認するとともに、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。更に、杭頭での杭芯位置と施工時の GL から深度 2m まで掘削した時点での砕石補強体と柱状改良体及び鋼管杭の杭径、または杭芯間距離を計測し、地中で杭体が鉛直に施工されているかの確認を行った。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うとともに、固化不良や鋼管杭の支持力に影響を及ぼすような有害な変形、欠損が無いかの確認も行った。

3. 検査結果

3.1 柱状改良体の品質

柱状改良の施工後の杭径と計測した杭芯ずれの結果は、表 2 に示すようにいずれも 100mm 以内で基準を満たしている。写真 1 に各改良体の GL から 2m 掘り下げた時の状況を示す。柱状 2, 4, 5 は柱状改良体の側面に砕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砕石補強体へ流入し固まった様子が伺える。写真 2 は柱状 2 について GL-2m 地点から更に柱状改良体の側面を 1.5m 程掘削して杭径を測定している状態である。柱状 2 は柱状改良体を砕石補強体と隣接させて施工しており、改良体同士の外周が接していた。柱状 4, 5 では、GL-2m 地点で柱状改良体と砕石補強体の径がそれぞれ 500mm と 210mm で、これらは杭頭での杭芯間距離と等しくなっており、施工が鉛直に行われていたと考えられる。

掘り起こした各柱状改良体を写真 3 に示す。柱状 3 は砕石補強体を完全に取り込み、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た。柱状 2, 4, 5 は側面に砕石が張り付いた状態であった。このうち柱状 4, 5 は、写真 4 に示

表 1 品質管理項目

柱状改良	基準または確認方法
出来形	杭頭の直径500mm以上
固化状況	コアボーリングの採取状況及び掘り起こしによる目視
一軸圧縮試験	15個の供試体の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
鋼管杭	基準または確認方法
先端翼の形状	有害な変形や欠損がないか掘り起こし後に目視で確認
共通項目	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	X, Y方向に対して100mm以内
鉛直性	杭頭及びGL-2m地点での杭芯間距離の差

表 2 杭頭杭芯ずれ及び柱状改良体頭部の杭径

試験名	X (mm)	Y (mm)	杭径 (mm)	試験名	X (mm)	Y (mm)
柱状1	12	-3	500	鋼管1	5	-18
柱状2	33	-46	500	鋼管2	58	-17
柱状3	19	-13	500	鋼管3	21	10
柱状4	-37	1	500	鋼管4	-3	59
柱状5	24	15	500			



写真 1 GL-2m 地点の全景



写真 2 柱状 2 杭径検測 (GL-2m 地点)

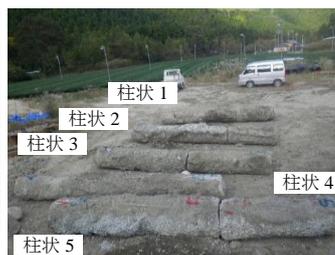


写真 3 掘り起こした柱状改良

すように柱状改良体と碎石補強体の断面が重なっていた。改良体断面の杭径検測において、柱状4、5の碎石補強体部分の径は210mmあり、碎石補強体の半分までラッ



写真4 柱状4の杭径検測



写真5 柱状3の供試体



写真6 掘り起こした鋼管杭

プして施工した場合、セメントスラリーは碎石補強体のほぼ全域に流入したと考えられる。また、柱状3～5は碎石を巻き込みながら施工しているため、柱状1と異なり改良体の表面に碎石が多数存在していた。接円の柱状2は、柱状3～5に比べ碎石があまり見られないものの、柱状1よりは改良体表面に碎石が見られた。

柱状改良体のコアボーリングの採取率は全てのケースにおいてほぼ100%であった。砂質土のコア採取率の規定「全長で95%以上かつ1m当り90%以上」³⁾を満たしており、固化不良は起きていないと考えられる。写真5に採取したコアの一例を示す。供試体内に碎石が混入している状況を確認できる。表3、4に室内配合試験と現場での一軸圧縮強さの結果を、また深度別の一軸圧縮強さを図1に示す。材齢はいずれも44日である。下記の式から設計基準強度 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3から、室内配合試験の3供試体の平均強度は 3.28MN/m^2 であり、 $F_c=1.3\text{MN/m}^2$ は満足すると考えられる。なお、合格判定値 X_L は 3.98MN/m^2 となる。

表3 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

$$F_c = q_{ud} \cdot (1 - 1.3V_d), \quad X_L = F_c + k_a \cdot V_d \cdot q_{ud}$$

X_L : 合格判定値, F_c : 設計基準強度, q_{ud} : 配合強度,

V_d : 変動係数(0.45), k_a : 抜き取り箇所数によって決まる合格判定係数

表4に示すように、いずれのケースにおいても平均強度は合格判定値以上であり、強度の最小値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る。また、強度は図1に示すように、柱状1≒柱状2<柱状4<柱状5<柱状3の関係が見られ、同じ杭芯間距離の柱状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杭芯間距離が最も近い柱状3の強度が最も大きい結果となった。これは柱状改良体と碎石補強体が重なるように施工することで、柱状改良体内部に取り込まれた碎石が、コンクリート中の骨材と同じような役割を果たし、柱状改良体の強度を高めたためと考えられる。

表4 現場の一軸圧縮試験結果と判定結果

試験ケース	現場一軸圧縮強さ q_{uf} (MN/m ²)		X_L (MN/m ²)	F_c (MN/m ²)	判定	
	平均 q_{uf}	最小 q_{uf}			平均 $q_{uf} \geq X_L$	最小 $q_{uf} \geq F_c$
柱状1	5.59	2.45	3.98	1.3	OK	OK
柱状2	6.36	3.85			OK	OK
柱状3	14.58	11.6			OK	OK
柱状4	10.76	6.69			OK	OK
柱状5	12.12	5.34			OK	OK

3.2 鋼管杭の品質

鋼管杭の杭芯ずれについても、表2に示すように柱状改良と同様に、いずれも100mm以内で基準を満たしている。また掘り起こしにより施工状況の確認を行った結果、GL-2m地点での杭芯間距離は杭頭と等しく、鋼管杭は碎石補強体が存在する場合でも地中で杭が傾斜することなく、施工が鉛直に行われたことが確認された。写真6に掘り起こした鋼管杭の全長を示す。全長にわたり施工による損傷はなく、先端翼も変形や欠損はないため、施工において碎石補強体の影響はないと考えられる。なお、鋼管2は施工後の掘削時にバックホウのバケットが当たったため若干の変形が見られるものの、施工時に変形は発生していないと考えられる。

4. まとめ

エコジョ工法で築造した碎石補強体に対して柱状改良と鋼管杭を施工した場合、品質に影響が見られるかについて確認を行った結果、以下のことが明らかとなった。

- ① 柱状改良、鋼管杭とも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。
- ② 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い。
- ③ 対象とした地盤条件では、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る。
- ④ 鋼管杭の先端翼に欠損や変形は生じない。

以上の結果、本試験で対象とした地盤条件において、エコジョ工法による碎石補強体を施工した後に、柱状改良や鋼管杭を施工することに問題はなく、碎石補強体は柱状改良体及び鋼管杭の品質に影響しないことが確認された。

<参考文献>

- 1) 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
- 2) 尾鍋ら：エコジョ工法による碎石補強体が地盤改良工事に及ぼす影響-施工について-，第54回地盤工学研究発表会概要集掲載予定
- 3) 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
- 4) 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

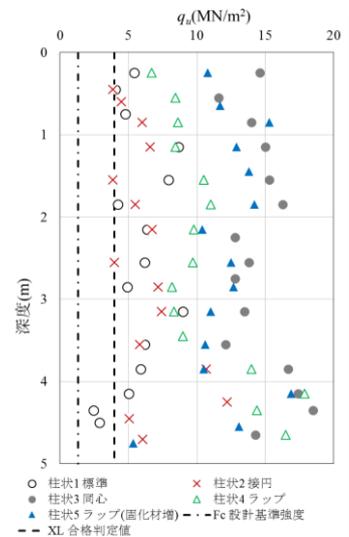


図1 深度別の一軸圧縮試験結果