

礫材空隙への可塑状グラウト充填による改良体の強度特性—その3：大型供試体による評価

東亜建設工業(株) 正会員 ○三枝 弘幸 府川 裕史
 東洋建設(株) 正会員 和田 眞郷 合田 和哉
 五洋建設(株) 正会員 小笠原 哲也

1. はじめに

近年の国際的動向である船舶大型化に伴い、既存係船岸の増深検討事例が増加している。この背景の中、既存捨石マウンドの一部を固化することで、法線位置を変更することなく増深が可能となる工法(以下、増深工法)が水谷らによって開発された¹⁾。著者らは、捨石マウンドの固化改良体に対して、適切な強度設定や施工管理に必要な強度特性を確認するため、種々の調査を継続的に実施している²⁾。本報は、供試体径 $\phi 300\text{mm}$ 、高さ $H600\text{mm}$ の大型固化改良供試体を用いた一軸圧縮試験および割裂引張強度試験を実施したのでその結果を報告するものである。

2. 試験条件

捨石マウンドの改良固化を想定し、粒径 $D=10\sim 20\text{mm}$ 、 $30\sim 60\text{mm}$ の 2 種類の礫材を用いて可塑状グラウト注入による大型固化改良供試体を作製した。なお、京浜港ドック実証実験での調査結果²⁾に基づき、礫材の目標空隙率を 40%に統一している。当供試体を用いて表-1 に示す試験ケースのもと、材齢 29~37 日にて一軸圧縮試験および割裂引張強度試験を実施した。なお、供試体作製方法の詳細については文献 3)を参照されたい。実施工での充填注入では、その施工環境の側面からも注入品質にばらつきが生じる可能性も考えられることから、充填率を空隙 100%と 80%の 2 種類に設定している。また、供試体を構成する礫材寸法の影響を確認することを目的としたケースも設定した。さらには、捨石マウンドの上部までグラウト材が完全に注入できなかった場合を想定したケースやマウンド捨石に付着物が存在して、グラウト材と捨石の付着力が低下する状況を模したケースも設定することで、様々な状況を包括した評価を行うことを狙っている。

一軸圧縮試験の载荷速度の設定においては、载荷速度が速い場合に見られる強度の過大評価を防止するため、 $0.01\text{N/mm}^2/\text{sec}$ の低速条件を採用した。また、割裂引張強度試験においても同様の理由から、 $0.004\text{N/mm}^2/\text{sec}$ としている。一軸圧縮試験の変位測定は供試体に直接貼付したひずみゲージに加え、検長 600mmと 300mm に設定した接触型変位計により行っている(図-1)。なお、割裂引張強度試験においては変位測定を行わず、強度のみ評価した。

3. 試験結果および考察

全ケースの試験結果一覧を表-2 に、ケース毎で比較した一軸圧縮強さを図-2 にそれぞれ示す。なお、各試験結果は材齢 28 日強度となるように、グラウト単味供試体から得られた材齢ごとの強度傾向を用いて強度補正を行っている。

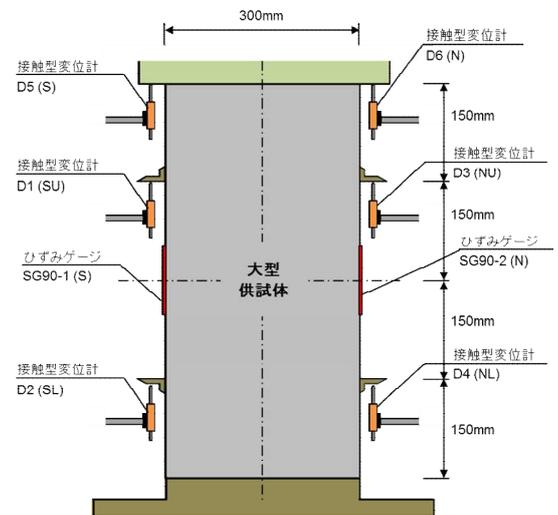


図-1 一軸圧縮試験の変位測定箇所

表-1 試験ケース

試験ケース	想定される状況	試験本数	
		圧縮	割裂
①空隙 100%充填 $D=10\sim 20\text{mm}$	充填が確実に行われた場合	10	7
②空隙 100%充填 $D=30\sim 60\text{mm}$	同上、ケース①と礫材寸法効果を検証	10	10
③空隙 80%充填 $D=30\sim 60\text{mm}$	施工条件により充填率 80%となった場合	10	—
④空隙 100%充填(上部未充填) $D=30\sim 60\text{mm}$	捨石層上部に未充填部分が発生した場合	10	—
⑤空隙 100%充填(捨石グリリス塗布) $D=30\sim 60\text{mm}$	捨石に付着物が存在している場合	10	—

キーワード: 一軸圧縮試験, 捨石, 注入工(グラウト工)

連絡先 〒230-0035 横浜市鶴見区安善町1丁目3 東亜建設工業 技術研究開発センター TEL045-503-3741

各試験前に測定した供試体密度 ρ はどのケースにおいても大きなばらつきは確認されず、適切に作製が行えていることがわかる。空隙充填率 100%として礫材粒径のみ異なるケース①と②では、データのばらつき程度は異なるものの、平均強度に大きな違いは見られず、礫材自体の寸法効果は小さいと判断される。一方、空隙充填率 80%とした場合では、充填率 100%に比べて強度が 60%程度に低減されている。上部未充填の結果は空隙充填率 100%と概ね同等の強度を有しており、未充填に伴う強度への明らかな影響は確認されない。また、捨石に付着物が存在した場合を想定したケース⑤の結果は、充填率 100%の結果と比べて強度が半減することがわかった。なお、割裂引張強度試験の結果においても礫材の寸法効果は確認されず、引張強度は圧縮強度の約 1/9 の結果である。また、別報⁴⁾で報告している中型供試体(供試体径 $\phi=100\text{mm}$ 、高さ $H=200\text{mm}$ 、粒径 $D=10\sim 20\text{mm}$)の一軸圧縮試験結果を用いて強度比較を行った場合、大型供試体の強度は中型供試体に対して若干小さい傾向が確認されている。

各ケースの代表的な応力-縦ひずみ曲線(検長 300mm)を比較して図-3 に示す。なお、縦ひずみは測定 2 箇所 の平均値として算出している。ケース①～④までの結果では静弾性係数 E_c に明瞭な違いが確認されていないのに対し、ケース⑤では曲線形状が明らかに他のケースと異なり、静弾性係数 E_c が小さくなっている。これは、礫材に塗布されたグリスによって生じたグラウトと礫材界面でのすべりにより、ピーク強度までに大きな変位が生じたことが原因と推察される。すなわち、捨石に付着物が存在する場合の増深工法の適用においては、強度の低下に加えて、荷重に伴う変位の照査も重要となることを意味している。

4. おわりに

現在、別報で報告している中型供試体の一軸圧縮試験結果や大型・中型供試体を用いた各種三軸圧縮試験結果^{5), 6)}も含め、固化改良体の強度特性を評価している。強度特性に影響を及ぼす要因を明確にし、増深工法における設計体系の高度化に向けてさらに検討を進めて行く予定である。

本試験を実施するにあたり、国土交通省 国土技術政策総合研究所ならびに国立研究開発法人 港湾空港技術研究所に多大なるご指導とご協力を頂いた。ここに記して謝意を表す。

【参考文献】1)水谷ら：重力式係船岸の新しい増深工法の開発、港湾空港技術研究所資料 No.1277, 2013. 2)小笠原ら：京浜港ドックにおける重力式係船岸増深工法の実用化に向けた実証実験、土木学会論文集B3(海洋開発)74(2), I_390-I_395, 2018. 3)合田ら：礫材空隙への可塑状グラウト充填による改良体の強度特性—その1:改良体評価に対する課題と実験概要、第74回土木学会年次学術講演会, 2019(投稿中). 4)小笠原ら：礫材空隙への可塑状グラウト充填による改良体の強度特性—その2:中型供試体による評価、第74回土木学会年次学術講演会, 2019(投稿中). 5)鶴ヶ崎ら：礫材空隙への可塑状グラウト充填による改良体の強度特性—その4:拘束圧の影響評価、第74回土木学会年次学術講演会, 2019(投稿中). 6)和田ら：礫材空隙への可塑状グラウト充填による改良体の強度特性—その5:波浪や地震時荷重に対する動的特性、第74回土木学会年次学術講演会, 2019(投稿中).

表-2 全ケースの試験結果一覧

(a)一軸圧縮試験

ケース	密度 $\rho(\text{g}/\text{cm}^3)$		応力度 $\sigma(\text{N}/\text{mm}^2)$	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差
①	2.278	0.006	14.42	1.27
②	2.272	0.008	15.75	2.29
③	2.161	0.004	8.81	1.09
④	—	—	14.53	1.75
⑤	2.280	0.009	7.28	0.68

※上部未充填のケース④では、密度測定は未実施

(b)割裂引張強度試験

ケース	密度 $\rho(\text{g}/\text{cm}^3)$		応力度 $\sigma(\text{N}/\text{mm}^2)$	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差
①	2.275	0.010	1.64	0.14
②	2.279	0.020	1.83	0.07

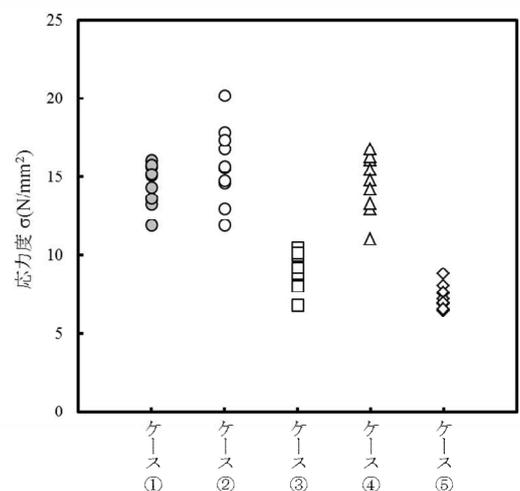


図-2 ケース毎の一軸圧縮強さ

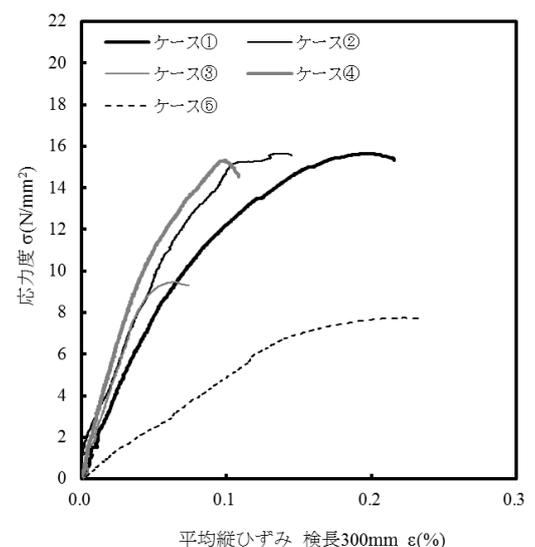


図-3 応力-縦ひずみ曲線の比較