

セメント改良された異なる粒調碎石の強度特性

鉄道総合技術研究所 正会員 ○ 渡辺健治 舘山勝
西南交通大学 蔣関魯
日本鉄道建設公団 正会員 米澤豊司 青木一二三
東京大学 正会員 龍岡文夫 Lohani, T. N.

1.研究の背景 筆者らはL2地震動のような大地震動に対しても十分な耐震性を有する新しい構造形式の橋台の一つとして「セメント改良補強土橋台」を提案しており¹⁾、この橋台は九州新幹線において本設構造物として建設された。この橋台の背面盛土はセメント安定処理して締固めた粒度調整碎石で建設する。盛土材としてのセメント改良礫土の研究事例は少なく、強度・変形特性や現場での最適な施工管理手法については未解明な部分が多い。本研究では異なる粒調碎石をセメント安定処理した供試体の大型三軸試験を実施し、その強度特性を検討した。

2.試料、実験方法 3種類の粒度調整碎石（粒調碎石A、A'、B）を用いた。粒調碎石A'は粒調碎石Aから10mm以上の粗粒分を除去したものである。図1の締固め曲線が示すように、同じエネルギーで締固めた場合でも、これら3種類の粒調碎石の乾燥密度は大きく異なっている。これは粒調碎石それぞれの比重(G_s)や粒度分布(U_c)がかなり異なっているためである（表1）。これらの粒調碎石にセメントを重量比2.5%($=W_{\text{cement}}/W_{\text{gravel}}$)で添加し、所定の密度に至るまで5cm毎に締固めて供試体を作製した。また、比較のためにセメント非改良の供試体を用意して三軸試験を行った。表1に実験条件の詳細を示す。三軸圧縮試験では軸変位を局所変形測定装置（LDTs）により測定し、載荷はひずみ速度0.01%/minで軸ひずみが15%に至るまで行った（実験方法の詳細は文献2),3)参照）。

3.実験結果および考察 図2にピーク強度と乾燥密度の関係を示す。これらの図より、いずれの粒調碎石についても良く締固めを行って乾燥密度を増加させることにより、ピーク強度が大きく増加し、特にセメント安定処理を行うことにより飛躍的に強度が増加することが分かる。また、粗粒分を除去した粒調碎石A'のピーク強度は粒調碎石Aよりも大きいことから、強度特性は粒度分布の影響を受けることが分かる。

粒調碎石AとBを比較すると、セメント改良された粒調碎石Bのピーク強度は粒調碎石Aと比較して高い。一見、これは粒調碎石Bの乾燥密度が高いことに起因しているように見え、また図2中でセメント改良された粒調碎石A,B間のピーク強度と乾燥密度の間には相関関係があるように見える。しかしながら、前述のように粒調碎石AとBの間で乾燥密度が大きく異なるのは、それぞれの礫材の比重(G_s)や粒度分布(U_c)が異なるためであり（表1参照）、締め固めエネルギーが異なるためではない。そのため、図2の乾燥密度とは、同一礫材間の締め固めエネルギーの違いと、異なる礫材間の比重や粒度分布の違いの両者が反映された値となっている。ここで礫材の比重自体は直接、強度特性に影響を及ぼさないことから、異なる粒調碎石のピーク強度と乾燥密度の間に常に相関関係があるとは考えにくい。特にセメント改良をしていない場合は、図2を見て分かるようにピーク強度と乾燥密度に相関関係がない。

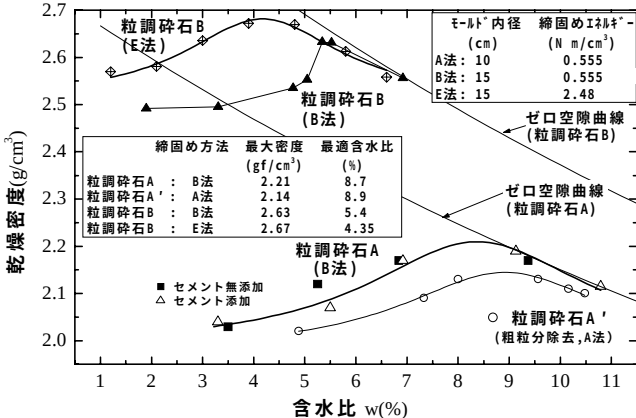


図1 試験に用いた粒調碎石の締固め曲線

表1 各実験条件の詳細

材料	岩の種類	G_s	U_c	セメント添加	乾燥密度 (g/cm ³)	拘束圧 (kPa)	含水比 (%)	セメントの配合量		養生 日数	供試体の大 きさ(mm)
								$W_{\text{cement}}/W_{\text{gravel}}$ (重量比,%)	$W_{\text{cement}}/V_{\text{gravel}}$ (g/cm ³)		
粒調碎石A	砂岩	2.71	12.1	あり	1.8, 2.0, 2.2	0, 20, 50	5.0, 8.7	2.50	6.78	7	φ200*H400
粒調碎石A'	砂岩	2.71	60.7	あり	2.0	20	8.7	2.50	6.78	7	φ200*H400
粒調碎石A	砂岩	2.71	12.1	なし	1.8, 2.0, 2.2	0, 20, 80	4.0	-	-	-	φ300*H600
粒調碎石B	ハレイ岩	3.03	32.3	あり	2.41, 2.56, 2.64	0, 20, 50	4.35	2.50	7.58	7	φ150*H300
粒調碎石B	ハレイ岩	3.03	32.3	なし	2.41, 2.56, 2.64	0, 20, 50	4.35	-	-	-	φ200*H400

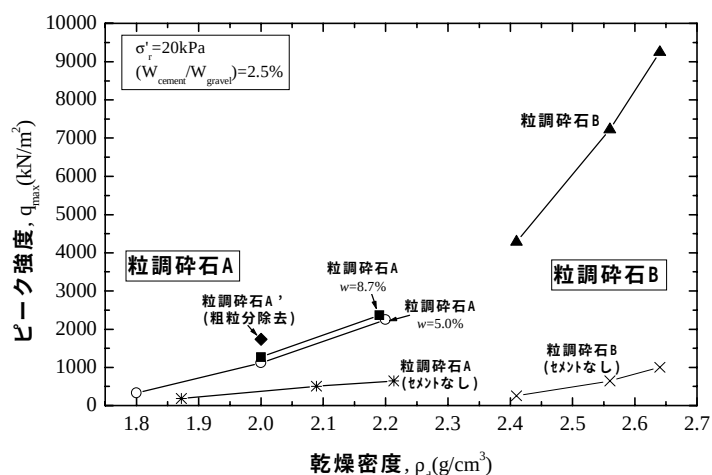


図2 ピーク強度と乾燥密度の関係

また、図3に示すように、同一礫材間で見るとセメント改良礫土のピーク強度とセメント非改良礫土のピーク強度は良く締め固めることによって増加し、両者には良好な相関関係がある。しかしながら、セメント改良した粒調碎石Bの強度はAと比較して非常に高い。この原因の一つとしてはセメント配合量の違いが挙げられる。前述のように供試体作製時には重量比で定義された一定のセメント配合率($W_{\text{cement}}/W_{\text{gravel}} = 2.5\%$)を基準にセメントを配合している。同一のセメント配合率($W_{\text{cement}}/W_{\text{gravel}}$)に対して、礫材の単位体積あたりのセメント量($=W_{\text{cement}}/V_{\text{gravel}}$, ここで $V_{\text{gravel}} = W_{\text{gravel}}/G_s$)は礫の乾燥密度に比例する。そのため、乾燥密度の大きい粒調碎石Bに添加する単位体積当たりのセメント量($W_{\text{cement}}/V_{\text{gravel}}$)は粒調碎石Aと比較して多い(表1参照)。このことが粒調碎石Bの強度が高い原因の一つになったと考えられる。

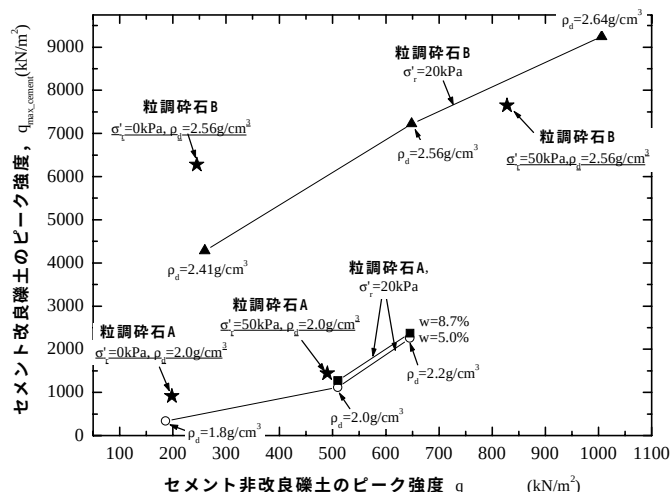


図3 セメント改良礫土のピーク強度とセメント非改良礫土のピーク強度の関係

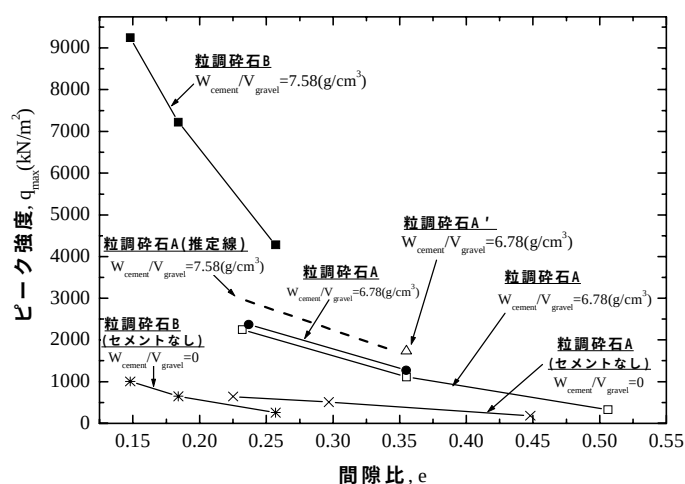


図4 ピーク強度と間隙比の関係

図4にピーク強度と間隙比の関係を示す。図中には既往の研究⁴⁾に基づいて、 $W_{\text{cement}}/V_{\text{gravel}} = 7.58(\text{g}/\text{cm}^3)$ とした時の粒調碎石Aの強度推定線も合わせてプロットしている。ここで横軸に間隙比(e)を用いたのは、間隙比は粒調碎石間で比重が異なる影響を排除することができるからである。図2と図4を比較すると、セメント非改良礫土のピーク強度は乾燥密度よりも間隙比に対してより良い相関性が見られる。また、セメント改良礫土については、セメント配合率(重量比、 $W_{\text{cement}}/W_{\text{gravel}}$)で比較するよりも、単位体積当たりのセメント配合量($=W_{\text{cement}}/V_{\text{gravel}}$)および間隙比で比較した方が、異なる粒調碎石間でより良い相関が見られることが分かる。しかしながら依然として粒調碎石Bのピーク強度は粒調碎石Aよりも大きい。この原因としては、粒度分布や礫材の形状の相違などが挙げられ、今後の検討が必要である。

4.まとめ (1) セメント安定処理により粒調碎石の強度は増加し、この効果は締め固めを行うことにより飛躍的に増加する。現場の施工管理においても高いエネルギーによって十分に締め固めることが重要である。

(2) セメント改良礫土の強度特性は、締め固めエネルギーやセメント配合量以外にも、粒度分布や礫材の形状の影響を大きく受ける。そのため現場施工においては、前もって一軸ないし三軸試験を行ない、現場で用いる礫材の物理特性・強度特性を把握した方が良いのか、今後の検討が必要である。

謝辞：本研究は運輸施設整備事業団基礎研究制度により行った研究である。ここに記して深謝の意を表する。

参考文献：1)米澤ら：セメント改良補強土橋台の開発、基礎工、Vol.30、No.11、2002 2)Watanabe, K. et al: Strength characteristics of cement-mixed gravel evaluated by large triaxial compression tests, Proc. of the 3rd International Symposium on Deformation Characteristics of Geomaterials, IS Lyon, 2003 3)渡辺ら：セメント改良礫土の強度特性に関する大型三軸試験、第37回地盤工学研究発表会、2002 4)Lohani, T. N. et al, Strength and deformation characteristics of cement-mixed gravel for engineering use, Proc. 3rd Int. Symp. on Deformation Characteristics of Geomaterials, IS Lyon, 2003.