

安定処理した島尻層泥岩土の CBR 特性

CBR CHARACTERISTICS OF STABILIZED SHIMAJIRI MUDSTONE SOILS

砂川 徹男*・上原 方成**

By Tetsuo SUNAGAWA and Hosei UEHARA

The Shimajiri mudstone (silty clays) is widely distributed in the southern and central parts of Okinawa Island. The Shimajiri Formation, mostly of the Shimajiri mudstone, is marine deposit of Miocene-Pliocene epoch. The present paper deals with the results of experimental studies on the stabilized soils for the effects on CBR mainly. Discussions are made on the test results comparing with those materials; (1) the natural clays passing through square opening of 38.1 mm, (2) the clay-cement mixtures and (3) the clay-hydrated lime mixtures. It is clarified that the stabilization effectiveness is closely related to the mixing water content, the additive content, and the curing time.

1. ま え が き

新生代第三紀の島尻層泥岩は沖縄本島中南部に広く分布し、地山として未風化の状態では良好な地盤であるが、切土あるいは掘削を行うと応力解放、吸水膨張、乾湿繰返し作用等により強度低下の問題がある^{1)~4)}。また、掘削直後は土塊や粗粒径の碎片土を含むので締固めにおいて施工管理上の問題が生ずる。さらに、吸水することにより細粒化が進行し、粘土化する。島尻層泥岩土（沖縄本島中南部の基盤層または表層として広く分布する泥岩の碎屑土または風化残積土で粘性土と同様な物理的性質を示すので泥岩土と称している。以下、泥岩土という）はこのような理由により、これまで盛土あるいは路床材料としてはあまり利用されなかった。しかしながら、近年の建設工事の大型化に伴い、経済性の面から、特に沖縄南伸道など新規高速自動車道や造成地においては、現場発生土として盛土または路床など材料土に利用しなければならない事態に至っている。

泥岩土については、盛土材料として利用する目的で、

新城⁵⁾や著者ら^{6),7)}の締固め特性についての報告があるが、本研究は土質改良にあたって、CBR特性を主に、これまでの実験研究成果^{8)~11)}を補足し考察を加えたものである。未処理のCBR特性については、これまでも新城⁵⁾や著者ら^{12),13)}の報告があり、未風化泥岩のCBRが養生条件によって大きく変動することや泥岩土のCBRが含水比によって変化することが明らかにされている。また、泥岩土の安定処理に関する基礎的研究の成果については著者らの若干の報告^{12),14),15)}もあり、安定処理による改良効果が予見されている。ここでは、3種類の安定材を用いて安定処理した泥岩土の設計CBR、修正CBRおよび長期養生CBRについてそれぞれの改良効果を検討した。

2. 試料および試験方法

(1) 試 料

試料は豊見城村（試料A）と南風原町（試料B）において新鮮な泥岩地山を土工機械で掘削し、自然含水比を測定し、試験室で空気乾燥させたものである。室内で空気乾燥させた試料は木づちで粉砕しながら手でほぐし、38.1 mmふるいを通して試験に供した。室内で空気乾燥させた試料の含水比（初期含水比）は、設計CBR用試料は現場における泥岩土が乾燥して含水比が

* 正会員 (株) 沖縄建設技研代表取締役
(〒901-21 沖縄県浦添市字宮城 569-1)

** 正会員 工博 琉球大学教授 工学部土木工学科
(〒903-01 沖縄県中頭郡西原町字千原 59)

Table 1 Physical properties.

試料	採取場所	自然含水比 (%)	土粒子比	粒度組成 (%)	液性限界 (%)	塑性限界 (%)
A	豊見城村	22.0	2.767	5.0 42.6 52.4	66.2	25.9
B	南風原町	23.9	2.734	1.6 34.4 64.0	77.2	23.2

Table 2 Compaction characteristics.

試料	最適含水比 (%)	最大乾燥密度 ρ_{max} (t/m ³)	最適含水比の4日間吸水膨張率 (%)
A	16.2	1.61	4.1
B	17.2	1.58	5.0

Table 3 Conditions of CBR tests.

試料	CBRの種類	試験の準備方法	突固め回数	各層当り突固め回数	許容最大粒径 (mm)
A	設計CBR	乾燥法	3	67	38.1
	修正CBR	乾燥法	3	17 42 92	38.1
B	長期養生CBR	乾燥法	3	67	38.1

低下することを考慮して5~10%とし、修正CBR用試料は安定材を添加後最適含水比付近になるように20%とし、長期養生CBR用試料は最適含水比付近と湿潤側の試料を比較するため20%と30%に調整した。

試料の物理的性質はTable 1に示すとおりで、両試料とも類似した性質を示している。これらの泥岩土は日本統一土質分類法によると三角座標では細粒土Fに分類され、塑性図ではCHに分類される。なお、試料の物理試験は原則としてJISに基づいているが、粒度試験の分散剤は泥岩土の分散剤としてはヘキサメタリン酸ナトリウムが分散効果がよい¹⁹⁾とされこれを使用した。また、突固め層数3、各層当りの突固め回数を67としたときの締固め特性はTable 2のとおりである。

安定材としてはセメントA、セメントBおよび消石灰の3種類を用いており、いずれも市販品である。セメントAは軟弱地盤用として改良されたものであり、主な成分はCaO 61.6%、SiO₂ 19.8%、SO₃ 7.6%、Al₂O₃ 5.0% および Fe₂O₃ 3.1% となっている。また、セメントBは高炉セメントである。

(2) 試験方法

CBR試験は原則としてJIS A 1211, KODAN A

1211 および KODAN 105¹⁷⁾ に基づいている。CBR試験用供試体の作製は、内径15cm モールドと質量4.5kgのランマーを用い、ランマーの落下高さは45cmとし、Table 3に示す条件で行った。

設計CBRおよび修正CBR用供試体で無添加の供試体は、作製後ただちに軸付き有孔板をのせ、温度21°C±3°Cの水中に4日間静置しながら吸水膨張試験を行った後貫入試験を行った。安定材を用いた供試体は、作製後3日間、温度21°C±3°C、湿度95%以上の湿室に静置し、その後供試体の上に軸付き有孔板をのせ、温度21°C±3°Cの水中に4日間静置しながら吸水膨張試験を行った後貫入試験を行った。

長期養生CBR用供試体は、作製後それぞれ4, 7, 10, 30および60日間の養生をした後CBR試験に供した。それぞれの養生期間においては、供試体作製後は温度21°C±3°C、湿度95%以上の湿室で静置し、最後の4日間は軸付き有孔板をのせ、温度21°C±3°Cの水中に静置しながら吸水膨張試験を行った後貫入試験を行った。

添加量は3種類の安定材についてそれぞれ2, 5, 10および15%とし、土の乾燥質量に対する質量百分率で示してある。

3. 試験結果および考察

(1) 設計CBR

設計CBRは日本道路協会の方法¹⁸⁾を考慮して、1層当りの突固め回数は67回とし、無添加供試体は突固め後ただちに4日間吸水膨張試験を行った後貫入試験を行ったが、安定材を用いた供試体は日本道路公団の方法¹⁷⁾に従い、吸水膨張試験前に3日間湿室で養生してある。

a) 膨張比

Fig. 1は締固め含水比と膨張比の関係を示したものである。無添加泥岩土の膨張比は5~0.5%の範囲にあり、締固め含水比の増加に伴い減少する傾向を示している。膨張比により路床土としての良否を判定すると良好な路床土 (r_e が1%以下)~不良な路床土 (r_e が3%以上)

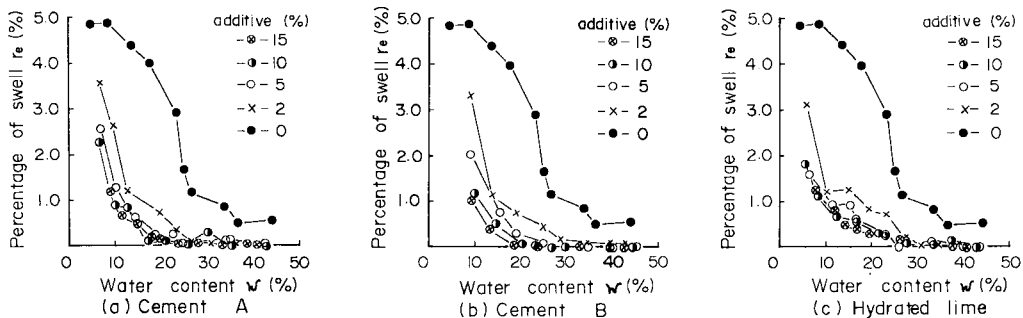


Fig. 1 Relationships between water content and percentage of swell.

の範囲にあり¹⁹⁾、後者のケースは自然含水比以下の現場で多くみられ土工上問題がある。安定材を混合した場合の膨張比はいずれの安定材を用いても、締固め含水比の増加に伴い減少し、添加量の増加に伴い減少する傾向を示している。いずれの安定材を用いても、締固め含水比が 10% 以下で添加量が 2% の場合を除けば、膨張比は 3% 以下を示し、締固め含水比が 15% 以上になるとほとんどの膨張比は 1% 以下を示している。したがって、3 種類いずれかの安定材を用いて最適含水比付近あるいはその湿潤側で泥岩土を締め固めれば⁷⁾、膨張比の面からみた場合良好な路床土となり得よう。

b) CBR

Fig. 2 は Fig. 1 で示した膨張比を有する泥岩土について締固め含水比と乾燥密度および CBR の関係は無添加泥岩土と比較して示してある。

安定材としてセメント A を用いた場合、最適含水比は添加量の増加に伴わずかに減少し、最大乾燥密度は添加量の増加に伴わずかに増加する傾向を示し、これまでの成果報告^{7), 12), 20)}とほとんど変わっていない。締固め含水比と CBR との関係からは、無添加泥岩土の CBR はすべて 5% 以下となっているが、安定材で安定処理することにより、その改良効果が著しいことは明らかである。特に、最適含水比付近あるいはそのやや湿潤側においてはその効果が顕著に現われている。CBR の

増大効果は最大粒径が 4760 μm の場合²¹⁾より大きい、それは粒度分布の違いによることや、吸水膨張試験を行う前に湿室で養生したことにより安定材の改良効果がより大きく現われたものと考えられる。また、締固め含水比と CBR の関係曲線は最適含水比付近あるいはそのやや湿潤側で極大値を示す曲線となっている。この極大値

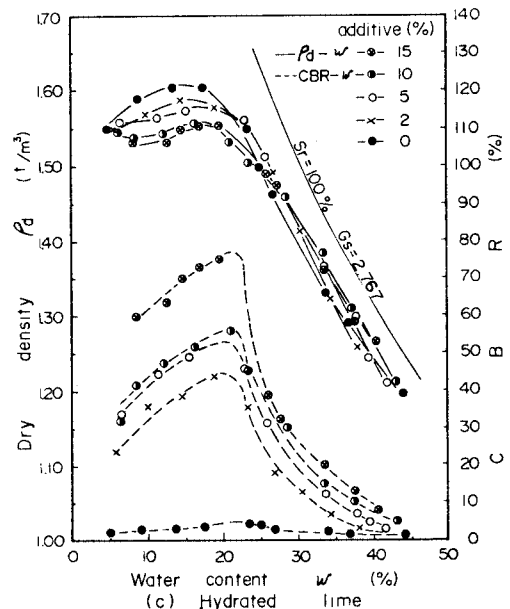
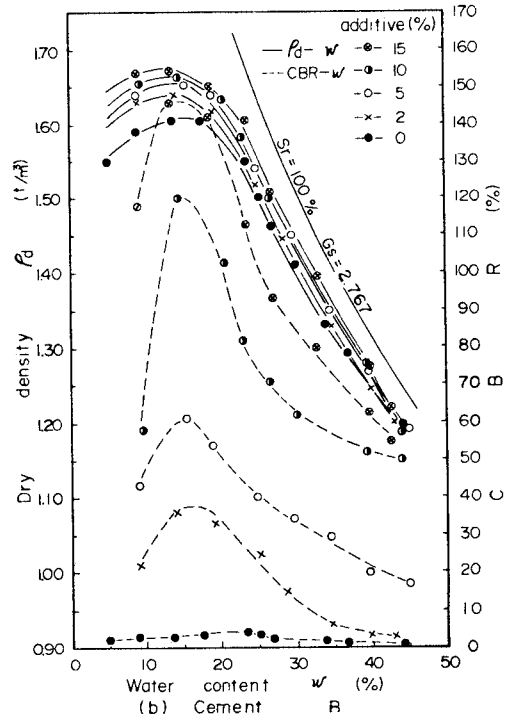
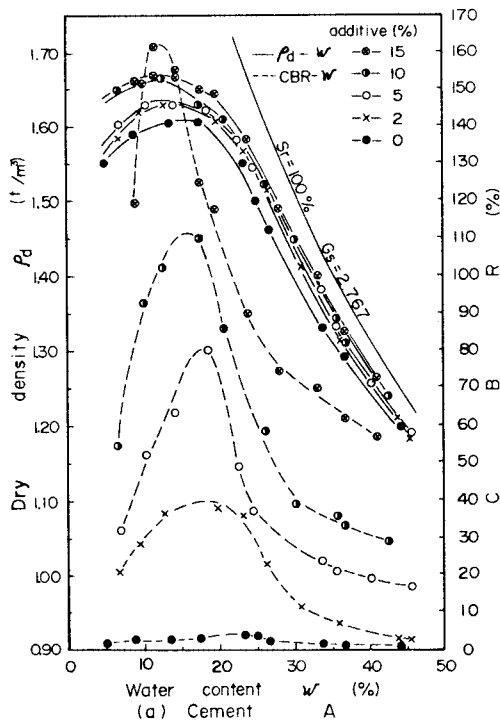


Fig. 2 Relationships of ρ_d-w -CBR.

は添加量の増加に伴って増加し、かつ最適含水比の減少に伴って乾燥側へ移動する傾向を示している。

安定材としてセメントBを用いた場合の締固め含水比と乾燥密度の関係は、セメントAを用いた場合と同様な傾向を示している。締固め含水比とCBRの関係においてもセメントAを用いた場合と同様、その改良効果は大きく、その関係曲線も同様な傾向を示している。したがって、軟弱地盤用安定材と高炉セメントの成分の違いからくる影響は現われていないようであり、現時点ではセメントAとBを比較した場合、CBRの改良効果は類似しており、優劣はつけがたい。

安定材として消石灰を用いた場合、セメントの場合と異なり、最適含水比は添加量の増加に伴わずかに増加し、最大乾燥密度は添加量の増加に伴わずかに減少する傾向を示し、先に報告した事例^{(7), (12), (20)}と類似している。締固め含水比とCBRの関係曲線は、セメントを用いた場合と同様、最適含水比付近あるいはそのやや湿潤側で極大値を示す曲線となっている。CBRの改良効果は添加量が2%程度まではセメントと類似して増大しているが、添加量が5%以上になると、セメントに比べてそれほど期待できない。

以上の結果から、泥岩土は3種類の安定材で安定処理することにより、高湿の状態が多い現場の泥岩土にあっても、路床土として具備すべき条件のCBR^{(18), (22)}を満足するものとなり得よう。

(2) 修正 CBR

修正 CBR は日本道路協会の方法⁽⁸⁾によると路盤の試験方法として用いられているが、日本道路公団の方法⁽⁷⁾では路床の設計 CBR の試験方法として用いられているので路床の設計 CBR を想定して試験を行った。

修正 CBR 用試料についてあらかじめ締固め試験を行った結果は Fig. 3 のとおりである。なお、このときの締固め方法は JIS A 1210 の呼び名 2.5 に基づいており、突固め層数 3、各層当たりの突固め回数 92 である。最適含水比と最大乾燥密度はいずれの安定材を添加してもこれまでの実験例^{(7), (12), (20)}と同様な傾向を示している。

Fig. 4 は Fig. 3 で示した締固め特性を有する泥岩土について初期含水比 (w_0) を 20% になるように調整し、安定材を混合して 3 種類の方法で突き固め、3 日間湿室で養生した後、4 日間吸水膨張試験を行った結果である。無添加の状態では 2~3% あった膨張比は安定材を用いることにより低下させることができ、いずれの安定材を用いても、添加量の増加に伴い減少する傾向を示している。また、同一添加量における膨張比は突固め回数が多いほど小さくなっており、締固め仕事量の効果が現われている。添加量を 2% 以上にすれば、1 層当たりの突固め回数が 42 回および 92 回の膨張比は、いずれの安定材を用

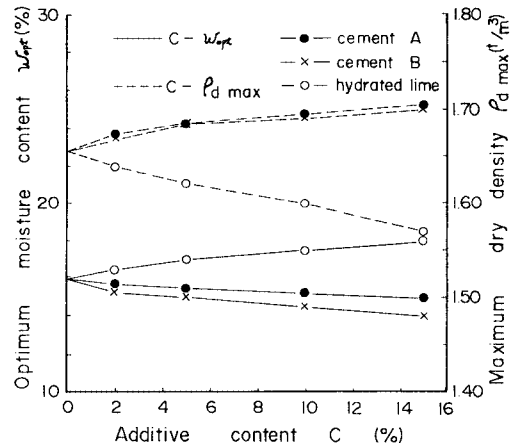


Fig. 3 Relationship of w_{opt} -C- ρ_{dmax} .

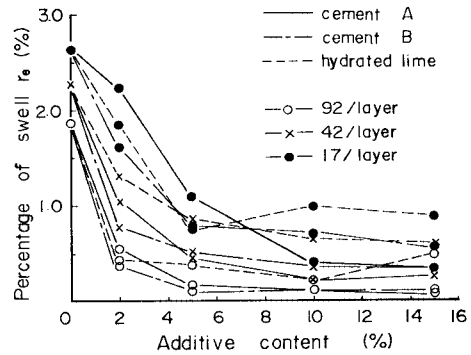


Fig. 4 Relationship between additive content and percentage of swell.

いてもほとんど 1% 以下を示しており、Fig. 1 における締固め含水比 20% 付近の膨張比とあわせ考えると改良効果が期待できよう。

Fig. 5 は Fig. 4 で示した膨張比を有する泥岩土について CBR 試験を行い、添加量と CBR の関係を示したものである。CBR はいずれの安定材を用いても、1 層当たりの突固め回数が多いほど大きく、添加量の増加に伴って増加する傾向を示している。CBR の改良効果は、いずれの安定材を用いても、添加量が 2% では類似した結果を示しているが、添加量が 5% 以上になると、消石灰においてはその効果は鈍化し、セメントの場合は確実に効果があがっていて、添加量の増加に伴って CBR の著しい増加が生じている。

Fig. 6 は Fig. 3 で示した締固め特性と、Fig. 5 で示した CBR から 90% 修正 CBR と 95% 修正 CBR を得た結果である。修正 CBR は、いずれの安定材を用いても、添加量の増加に伴い増加する傾向を示している。添加量が 2% の場合の修正 CBR は、いずれの安定材を用いても、類似した結果を示しているが、添加量が 5% 以

上になると、セメントを用いた場合の修正 CBR が添加量の増加に伴い著しい増加を示しているのに対し、消石灰を用いた場合の修正 CBR は添加量の増加に伴い緩やかな増加を示している。また、路盤材としての修正 CBR¹⁶⁾ も十分得られるようであるが、安定処理した泥岩土の路盤材としての適否は、一軸圧縮強さや塑性指数等の改良効果もあわせ検討する必要がある。

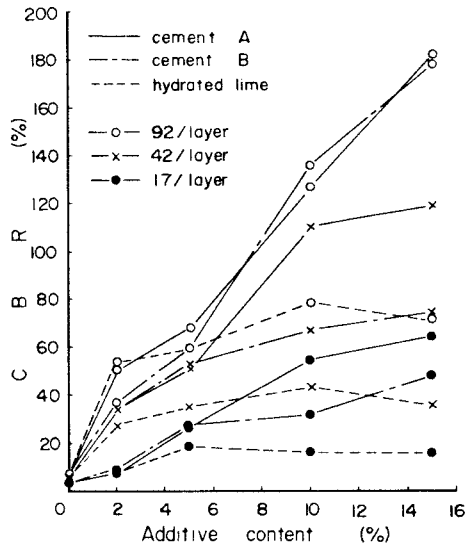


Fig. 5 Relationship between additive content and CBR.

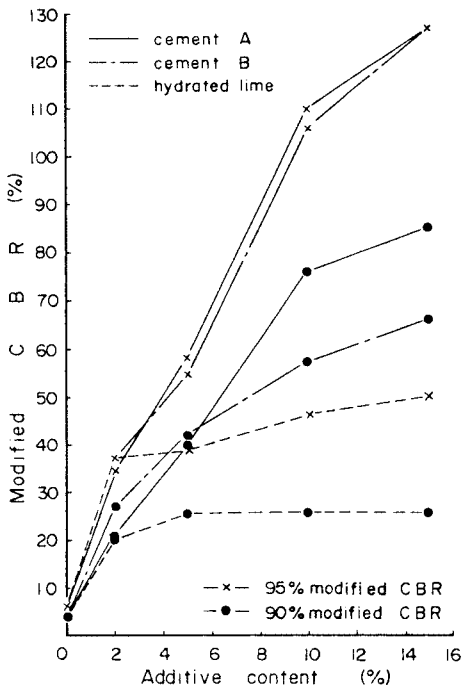


Fig. 6 Relationship between additive content and modified CBR.

(3) 長期養生 CBR

これまでは短期養生の CBR について検討してきたが、ここでは長期養生した場合 CBR がどのように変化していくかを検討する。CBR 試験は最適含水比付近と湿潤側にある 2 つの状態の泥岩土について行った。

a) 最適含水比付近の泥岩土

Fig. 7 は初期含水比が 20% になるように調整した試料に安定材を用いて突き固めた供試体の吸水膨張試験結果で、養生日数と膨張比の関係を示したものである。膨張比は、いずれの安定材を用いても、養生日数の増加に伴い減少する傾向を示している。セメント A を用いた場合、膨張比はすべて 1% 以下を示しており、他の安定材を用いた場合より安定した状態にある。セメント B および消石灰を用いた場合、養生日数が 4 日で 1~2% を示していた膨張比は養生日数が 7 日以上になると 1% 以下に低下する。したがって、膨張比を下げたその改良効果を上げるためにはある程度の養生時間が必要となる。

CBR とその養生日数との関係を知るために、Fig. 8 に Fig. 7 で示した膨張比の供試体について行った CBR 試験結果を示した。

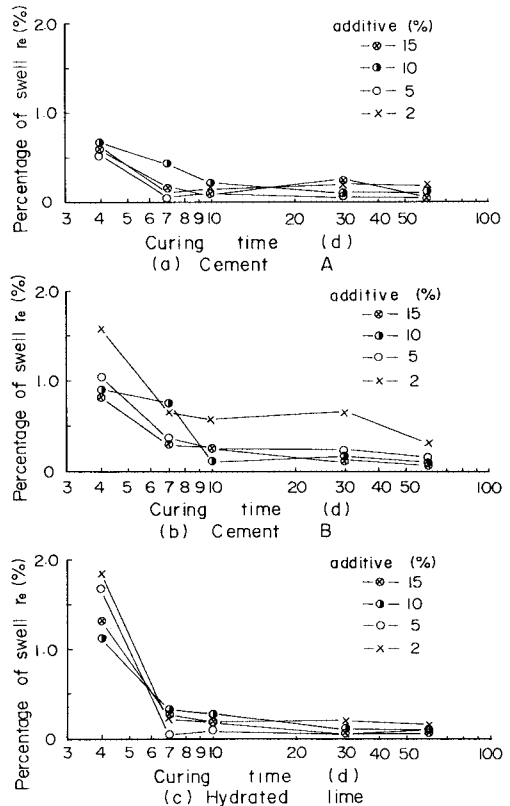


Fig. 7 Relationships between curing time and percentage of swell.

セメントを用いた場合、CBRは養生日数の増加に伴い増加することを示している。添加量が2%の場合のCBRは養生日数の増加に伴い緩やかに増加しているが、添加量が5%以上になるとCBRの改良効果が顕著に現われている。すなわち、添加量が5~15%では

CBRは養生日数が4~10日で著しい増加を示し、それ以後は緩やかな増加となっている。また、添加量の違いによるCBRの改良効果は、養生日数が4日ではそれほど大きな差異を示さないが、養生日数が7日以上になると顕著に現われている。

セメントBを用いた場合の養生日数とCBRの関係曲線は、セメントAを用いた場合の関係曲線と類似した傾向を示している。同一添加量におけるCBRは、セメントAを用いた場合がセメントBを用いた場合より大きく、その改良効果が優れているようである。

消石灰を用いた場合の養生日数とCBRの関係曲線は、セメントを用いた場合と異なった傾向を示している。CBRは養生日数の増加に伴い緩やかに増加するものの、セメントのような著しい増加はみられない。なお、この場合養生日数に関係なく、添加量の多少によるCBRの増減に定まった関係はみられない。したがって、添加量が増加するから必ずしもCBRが増加するとは限らない。これは消石灰を用いて突固めを行った場合、最適含水比が湿潤側へ移動し、含水比とCBRの関係曲線でCBRの極大値も湿潤側へ移動することにより、最適含水比の乾燥側では、添加量が増加してもCBRが減少する場合がある²¹⁾こととして判定されよう。すなわち、初期含水比を20%に調整してあった試料が安定材を加えることにより、含水比が減少し、最適含水比の乾燥側

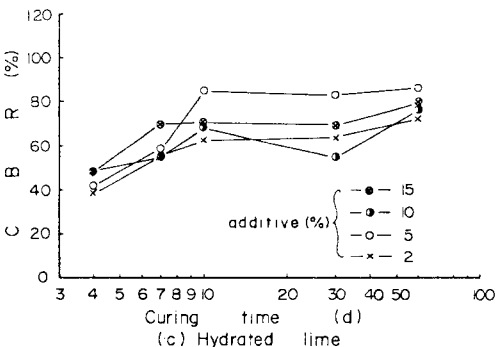
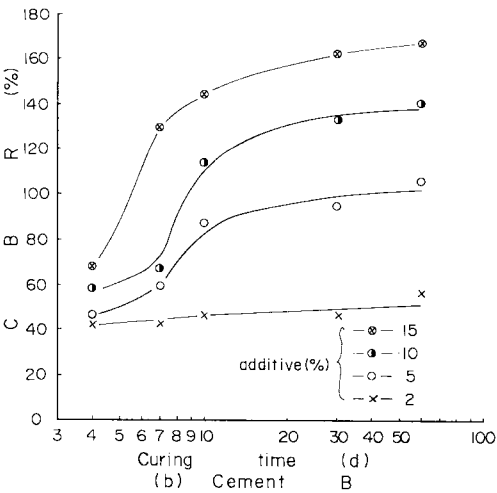
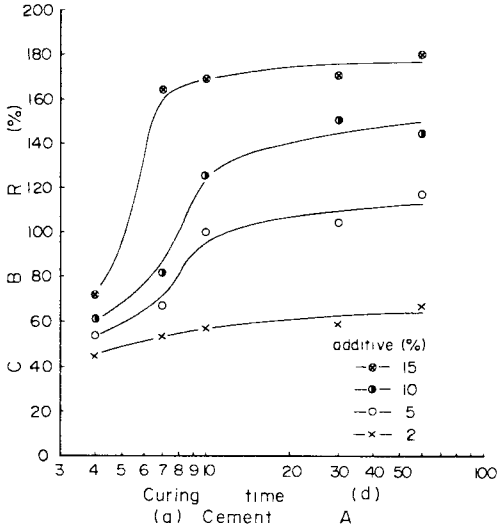


Fig. 8 Relationships between curing time and CBR.

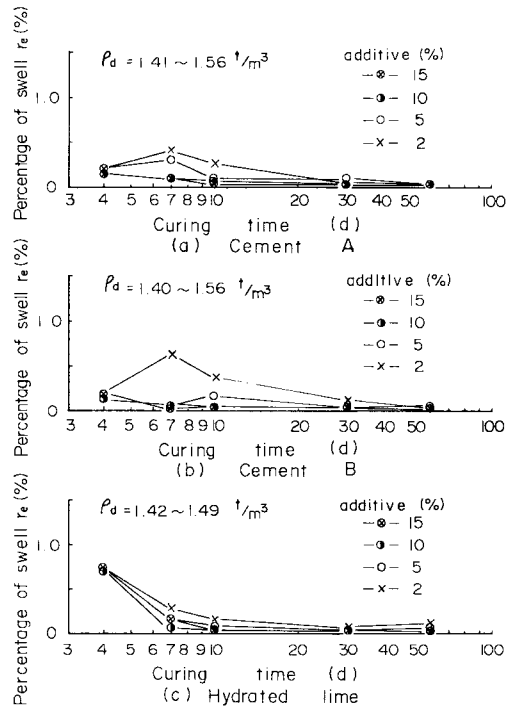


Fig. 9 Relationships between curing time and percentage of swell.

へ移動が生じてこのような結果になったものと考えられる。

これらの結果から、CBR の改良効果は添加量が 2 %

ではいずれの安定材を用いても類似しているが、添加量が 5 % 以上になるとセメントが消石灰より大きいといえよう。

b) 湿潤側の泥岩土

Fig. 9 は初期含水比が 30 % になるように調整した試料に安定材を用いて突き固めた供試体の吸水膨張試験結果で、養生日数と膨張比の関係を示したものである。膨張比は、いずれの安定材を用いても、養生日数の増加に伴い減少する傾向を示している。また、膨張比はすべて 1 % 以下を示して安定した状態にあり、Fig. 7 で示した初期含水比が 20 % の泥岩土の膨張比よりかなり小さな値を示している。したがって、Fig. 1 で示した膨張比とあわせ考えると、高湿状態にある泥岩土の膨張比は安定材を用いることにより安定した状態に改良できよう。

Fig. 10 は Fig. 9 で示した膨張比の供試体について CBR 試験を行い、養生日数と CBR の関係を示したものである。CBR はいずれの安定材を用いても、養生日数の増加に伴い増加する傾向を示している。添加量が 2 ~ 5 % においては、いずれの安定材を用いても、CBR は養生日数の増加に伴い緩やかに増加し、その改良効果も類似している。添加量が 10 ~ 15 % においては、いずれの安定材を用いても、CBR は養生日数の増加に伴い著しい増加を示し、養生日数が 60 日でもほぼ直線的な変化を示している。このような傾向は、Fig. 8 で示した初期含水比が 20 % の場合と異なっているが、泥岩土の含水比が最適含水比付近では安定材の改良効果が早く現われ、CBR はある値に早く到達するが、最適含水比の湿潤側、すなわち、含水比が高い場合は安定材の改良効果が進行しつつあるものと思われ、ほぼ直線的な変化を示しているのであろう。また、添加量が 10 ~ 15 % における CBR の改良効果はセメントが消石灰より大きいといえよう。なお、安定材として消石灰を用いた場合の養生日数と CBR の関係曲線が、Fig. 8 で示した曲線と異なった傾向を示しているのは、Fig. 8 で示した泥岩土の含水比が最適含水比の乾燥側にあるのに対し、Fig. 10 に示した泥岩土の含水比は最適含水比の湿潤側にあることに起因しているものと考えられる。

4. 結 論

盛土あるいは路床土としての島尻層泥岩土の安定処理効果について検討してきたが、これらの結果を要約すると次のようになる。

(1) 泥岩土の膨張比は最適含水比付近においてさえかなり大きく膨張比の面からは不良な路床土であるが、安定材を用いることにより、最適含水比付近およびその湿潤側においてはかなり減少し、良好な路床土に改良することができる。

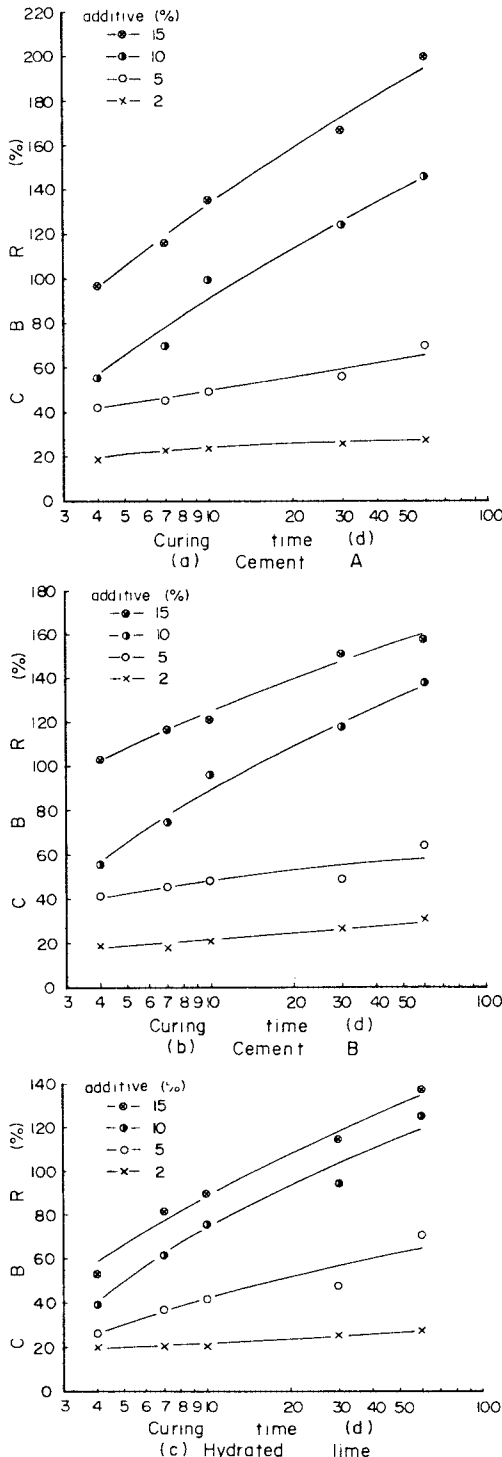


Fig. 10 Relationships between curing time and CBR.

(2) 路床土としての泥岩土のCBRは安定材を用いることにより大きな改良効果が期待でき、最適含水比付近およびそのかなり湿潤側にある泥岩土まで路床土として必要な値を得ることができる。

(3) 最適含水比付近の泥岩土の修正CBRは安定材を用いることにより大きな改良効果が期待でき、路床土として必要な値を得ることができる。

(4) 泥岩土に安定材を用いて長期養生した場合、最適含水比付近および湿潤側においてその膨張比はかなり小さくなり、安定した状態を維持できる。

(5) 泥岩土に安定材を用いて長期養生した場合、最適含水比付近および湿潤側においてそのCBRはかなり大きく、路床土として必要な値を期待できる。

謝辞：著者らの研究に対して日頃ご激励・ご助言を賜わる名古屋大学教授 植下 協博士に厚く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 新城俊也：沖縄における泥灰岩の工学的特性 (I), 琉球大学農学部学術報告, 第18号, pp.127~136, 1971.
- 2) 新城俊也・小宮康明：乾湿繰返しによる島尻層泥岩の強度低下, 琉球大学農学部学術報告, 第25号, pp.307~323, 1978.
- 3) 新城俊也ほか：島尻層泥岩地帯における切土斜面の設計の現状と問題点, 土と基礎, Vol.31, No.1, pp.111~116, 1983.
- 4) 周藤宜二・上原方成：スレーキングを受けた泥岩の基礎的性質について, 土木学会第36回年次学術講演会講演概要集第3部, pp.250~251, 昭和56年10月.
- 5) 新城俊也：島尻層泥岩土の締固めに関する2,3の特性, 琉球大学農学部学術報告, 第24号, pp.413~425, 1977.
- 6) 上原方成：土の締固めに関する研究 (第1報), 琉球大学理工学部紀要工学篇, 第8号, pp.47~64, 1975.
- 7) 砂川徹男・上原方成：島尻層泥岩土の締固め特性と安定処理, 土と基礎, Vol.32, No.8, pp.11~16, 1984.
- 8) 砂川徹男・當山清巳：締固めた島尻層泥岩土のCBR特性について (2), 土木学会西部支部昭和56年度研究発表会講演集, pp.231~232, 昭和57年2月.
- 9) 砂川徹男・當山清巳：締固めた島尻層泥岩土のCBR特性について (3), 第17回土質工学研究発表会講演集, pp.1321~1324, 昭和57年6月.
- 10) 砂川徹男・當山清巳：締固めた島尻層泥岩土のCBR特性について (4), 第18回土質工学研究発表会講演集, pp.1445~1446, 昭和58年6月.
- 11) 砂川徹男・當山清巳：締固めた島尻層泥岩土のCBR特性について (5), 第19回土質工学研究発表会講演集, pp.1467~1468, 昭和59年6月.
- 12) 砂川徹男：島尻層泥岩土の安定処理について, 沖縄県技術士会誌, 第11号, pp.1~9, 昭和59年4月.
- 13) 砂川徹男・上原方成：路床土としての島尻層土について, 琉球大学理工学部紀要工学篇, 第9号, pp.151~156, 1975.
- 14) 上原方成：路盤の安定処理に関する基礎的研究 (I)—ソイルセメント工法一, 琉球大学理工学部紀要工学篇, 第1号, pp.25~39, 1968.
- 15) 上原方成：路盤の安定処理に関する基礎的研究 (III)—島尻層泥岩土 その1—, 琉球大学理工学部紀要工学篇, 第4号, pp.63~88, 1971.
- 16) 上原方成・周藤宜二：土の粒度試験について—沖縄の土における分散剤の効果 その1—, 琉球大学理工学部紀要工学篇, 第15号, pp.71~74, 1978.
- 17) 日本道路公団：日本道路公団土木工事試験方法, 昭和51年.
- 18) 日本道路協会：アスファルト舗装要綱, pp.2~21, 昭和58年.
- 19) 土質工学会編：土質試験法 (第2回改訂版), pp.304~333, 昭和56年.
- 20) 砂川徹男・中村元次：島尻粘土の安定処理について, 土木学会西部支部昭和56年度研究発表会講演集, pp.233~234, 昭和57年2月.
- 21) 砂川徹男：締固めた島尻層泥岩土のCBR特性について (1), 土木学会第36回年次学術講演会講演概要集第3部, pp.672~673, 昭和56年10月.
- 22) 日本道路公団：設計要領 (第一集), 土工編, pp.20~29, 1970.

(1985.8.31・受付)