

【ノート】

セメントおよび石灰安定処理土の降雨侵食特性と
石灰安定処理のメカニズム

STABILIZATION OF CLAY SOILS AGAINST EROSION LOSS

川 村 満 紀*・Sideny Diamond**

By Mitsunori KAWAMURA and Sidney DIAMOND

1. ま え が き

最近、米国において、道路および水路などの工事現場で、最終的に舗装や植生が完成するまでの期間中の土の侵食が重要な環境問題としてとりあげられている¹⁾。このような工事現場からの一時的な土の侵食を防止するために安価な方法を開発するための研究が著者らによって進められ、比較的少量の石灰およびセメントによる安定処理がこのような目的に対して有効な手段であることが確かめられた^{2),3)}。ただし、この研究は雨滴侵食に関するものであり、得られた結果は必ずしも層状侵食やリル侵食を伴う斜面上を流下する水に対する安定処理土の侵食性能を示すものではないが、Young and Wiersmaによって、層状侵食 (sheet erosion) においては、雨滴の衝撃による土粒子の離脱が侵食損失の主要原因であるということが明らかにされている⁴⁾。著者らが行った研究はセメントおよび石灰による安定処理土の降雨侵食のメカニズムを明らかにするという目的をも含んでおり、走査型電子顕微鏡 (SEM)-エネルギー分散方式 X 線アナライザー (EDXA) の組合せによる降雨侵食を受けた安定処理土の微視的構造の観察および定性化学分析、水銀圧入法による孔径分布の測定、安定処理土の水に安定な土粒子塊の水中粒度分析などの実験によって、雨滴の衝撃による土粒子の離脱のメカニズムに関して、二、三の興味深い事実が明らかになった³⁾。これらの実験結果の一部は 10 年ほど前、Diamond and Kinter とアイオワ大学の研究者グループとの間で活発な討議が展開された石灰安定処理のメカニズム^{5),6)}に関して、示唆的な事実を含んでいると思われるので、本報告においては、著者らによって試作された人工降雨実験装置を使用して得られたセメントおよび石灰安定処理土の降雨侵食特性に関する実験結果の要点を述べ (詳細については文献 2) および 3) 参照)、さらに石灰保持点の工学的意義について触れる。

* 正会員 工博 金沢大学助教授 工学部土木工学科

** Ph.D. Professor of Engineering Materials, Purdue University, W. Lafayette, IN 47907, U.S.A.

2. セメントおよび石灰安定処理土の降雨侵食特性†

(1) 侵食量の測定法

本研究用に試作された人工降雨装置は降雨強度が 83 mm/hr の自然豪雨に相当する降雨を同時に 3 個の供試体にあたえうるように設計されたものである。すなわち、この降雨装置は約 60 cm 平方の領域にわたって水滴の落下点が一様に分布し、しかも 83 mm/hr なる強度の自然降雨がもつ運動エネルギーをシュミレートできるように設計され、実際に作製された降雨装置は直径 3 mm の水滴を作る内径 0.5 mm の細管を 3.05 cm 間隔に配列し、水滴を 4.3 m の高さより自然落下させることによって、83 mm/hr の自然降雨のもつ運動エネルギーを 80% 程度シュミレートできるものである (装置の詳細については文献 2) 参照のこと)。

侵食試験用供試体は直径 10 cm、厚さ 2.5 cm の円盤であり、供試体表面に落下した水滴が表面を自由に流れ去るように水平に対して 5° 傾斜させて設置されている。

本研究で採用された標準侵食試験 (人工降雨を 1 時間あたえ、23 時間後にさらに 1 時間降雨にさらすという過程) において、各供試体から離脱し、流れ出た土試料を収集し、乾燥後にその重量を測定して求められた供試体表面の単位面積あたりの離脱土の重量を侵食量 (amount of soil detached) (gms/cm²) とする。

(2) セメントおよび石灰安定処理の侵食量減少効果

Fig. 1 は粘性土 (Crosby Soil)†† のポルトランドセメントによる侵食量減少効果を示している。この図より明らかなように、セメント量 2.5% のセメント安定処理によって、土の侵食量は 1 日材令において零となる。わ

† この項は The Clay Minerals Society (U.S.A.) の Clays and Clay Minerals, Vol. 23, pp. 452~457, 1975⁷⁾ に刊行された論文の一部分を和文にて要約したものである。

†† 粘土分 (2μ 以下) は約 20% であり、モンモリロナイト、混合層粘土鉱物およびカオリナイトを含有している。

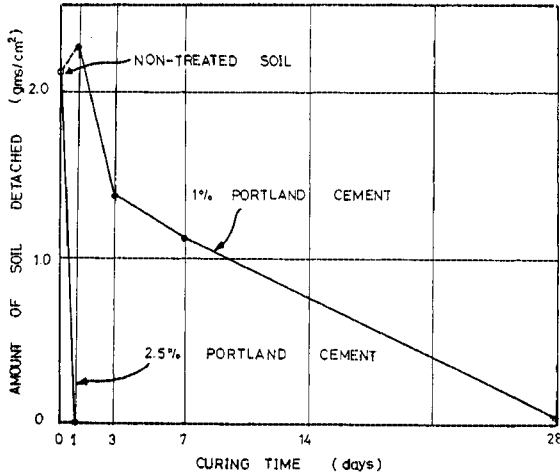


Fig. 1 Erosion losses of cement-stabilized Crosby soil as functions of percentage of cement and of curing period.

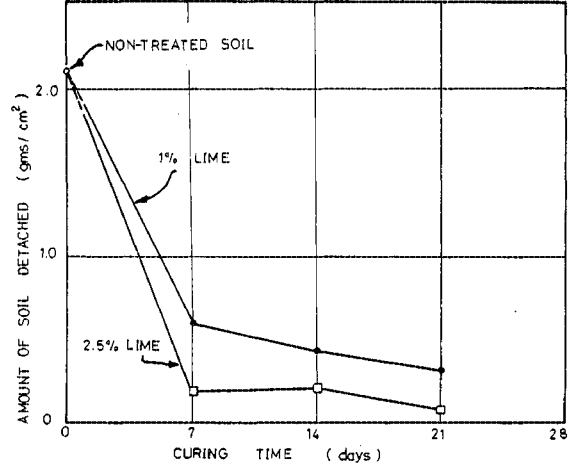


Fig. 2 Erosion losses of lime-stabilized Crosby soil as functions of percentage of lime and of curing period.

ずか1%のセメントによる処理によって、7日材令における侵食量は未処理の約半分となり、28日間養生すればほとんど零となっている。また石灰安定処理の侵食量減少効果を示す Fig. 2 より、わずか

1%の消石灰による処理によって、1週間後における侵食量は未処理土の1/3以下となることがわかる。

Fig. 1 と Fig. 2 の結果を比較すれば、消石灰はポルトランドセメントほど急激に効果はあらわれませんが、粘性土の降雨侵食防止剤として有効であることは明確である。

降雨実験後の各種供試体の表面の外観は Fig. 3 に示す通りである。

Fig. 3 (a) に示されるように、未処理土の表面は明らかに土粒子が分散した様相を呈している。一方、侵食量が極めて小さい2.5%のセメント(1日材令)および消石灰(7日材令)による安定処理土供試体の降雨実験後の表面の土粒子は、それぞれ Fig. 3 (b) および (d) に示されるように、分散した状態ではなく、特にセメント安定処理土供試体 (Fig. 3 (b)) はほとんどもとの表面状態を保持している。Fig. 3 (b) において、供試体表面が光って見える部分はち密な皮かきによっておおわれているように見えるが、別に行われた走査型電子顕微鏡による表面の観察

によって、非常に透水性の大きい皮かきであることが判明している。

セメント安定処理による降雨侵食防止のメカニズムを

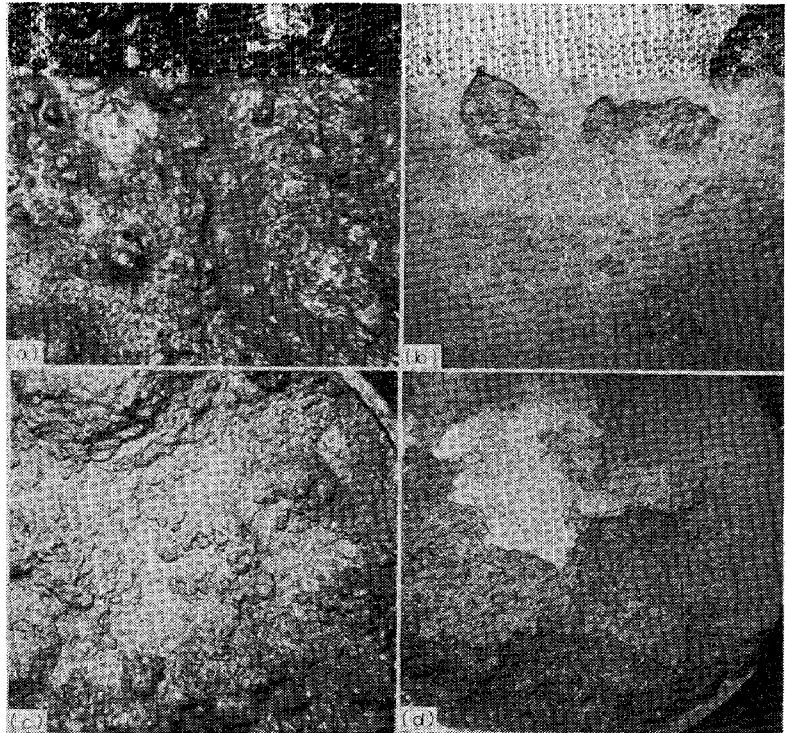


Fig. 3 Appearance of the surface of various Crosby soil specimens after exposure to the test rainstorm sequence: (a) Unstabilized soil. (b) Stabilized with 2 1/2% Portland cement and cured for 1 day prior to exposure. (c) Inadequately stabilized: treated with 1% Portland cement and cured for 7 days prior to exposure. (d) Stabilized with 2 1/2% hydrated lime and cured for 7 days prior to exposure.

明らかにするために、市販のイライト粘土 (“Grundite”, Illinois Clay Products Co., Lansing, IL.) を 5% のセメントによって処理した供試体に標準降雨をあたえた後、侵食されない表面部分を走査型電子顕微鏡によって観察すると Fig. 4 に示されるような構造が見られる。Fig. 4(a) はセメントの水和反応およびセメントの水和反応によって生成された水酸化カルシウムとシリカを含む粘土粒子との 2 次元的な反応より生じた C-S-H gel が各粘土粒子およびそれらの集合体を結合し、雨滴の衝撃に対して十分抵抗できる網目構造を形成していることを示している。さらに、Fig. 4(b) より、セメント安定処理土中の C-S-H gel のうち少なくともある種のものはセメントの水和反応生成物に見られる“網目状 (reticulated network)” 形態のものであることがわかる。

3. 石灰安定処理のメカニズム

石灰安定処理のメカニズム解明のための研究は米国において活発に進められてきた^{5), 6)}。その中で特に、粘土粒子表面における石灰の吸着のメカニズムに関して 2 つの異なった考え方が提唱されたが、工学的には石灰保持点の意義づけがより重要であると思われる。アイオア大学の研究グループは石灰の吸着のメカニズムより見た石灰保持点の意味づけは別としても、石灰保持点は工学的に有益な概念であるとして、石灰添加量が石灰保持点を超えなければ、土粒子を結合し、強度を発現させるに十分なポゾラン反応は起こらないと考え、一方 Diamond and Kinter は石灰保持点以下の少量の石灰でも化学反応が起こり、石灰安定処理土は強度を持つと主張した⁵⁾。Fig. 2 および Fig. 3 (c) より、石灰添加量がわずか 1% の安定処理土においても、豪雨時の雨滴の衝撃に十

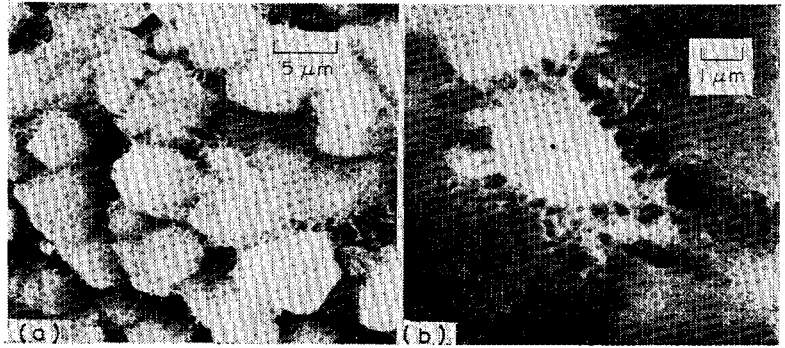


Fig. 4 (a) Scanning electron micrograph of residual surface of grundite clay stabilized with 5% Portland cement and cured for 13 days before exposure, showing formation of calcium silicate hydrate gel linking adjacent grains. (b) Higher magnification view of a portion of the above showing the reticulated network structure of the calcium silicate hydrate gel surrounding a clay particle.

分耐え得る土粒子間結合が生じていることは明らかであり、この事実は後者の考え方の正当性を主張するのに有利なものとなるようである。

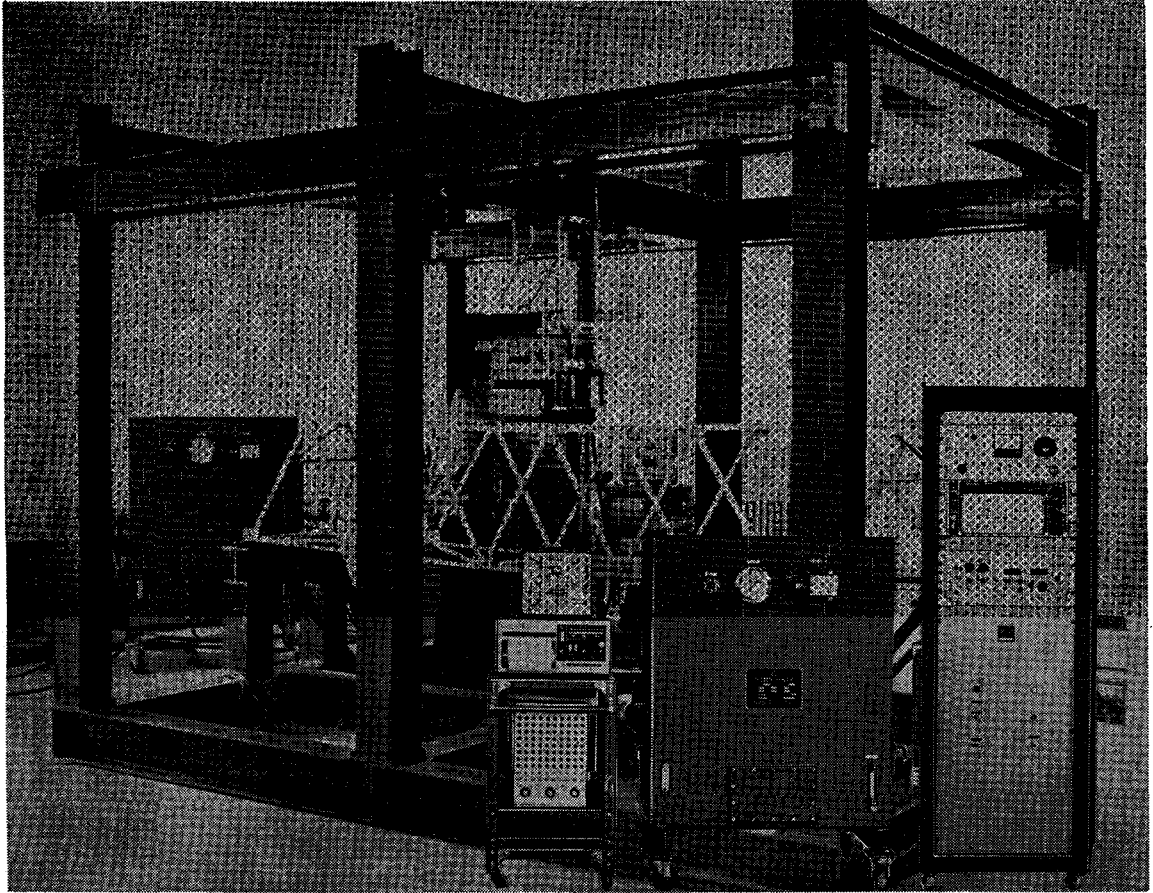
参考文献

- 1) Younkin, L.M. : Effects of highway construction on sediment loads in stream : In Soil Erosion-Causes, Mechanisms, Prevention and Control, Special Report 135 pp. 82~93. Highway Res. Bd. 1973.
- 2) Diamond, S. and M. Kawamura : Soil Stabilization for erosion control : Report No. JHRP-74-12, Joint Highway Research Project, Purdue University. 1974.
- 3) Kawamura, M. and S. Diamond : Stabilization of clay soils against erosion loss, Clays and Clay Minerals, Vol. 23, No. 6, pp. 444~451, 1975.
- 4) Young, R.A. and Wiersma, J.L. : The role of rainfall impact on soil detachment and transport, Water Resources Res. Vol. 9, pp. 1629~1636, 1973.
- 5) Diamond, S. and E.B. Kinter : Mechanisms of soil-lime stabilization-An interpretive review, Highway Research Record No. 92, pp. 83~92, 1966.
- 6) 有泉 昌 : Soil-Lime 工法の問題点, 粘土科学, 第6巻, 第2, 3号, pp. 74~80, 1967.
- 7) Diamond, S. : Application of scanning electron microscopy to the study of hydrated cement : Scanning Electron Microscopy/1970 pp. 385~390. Proc. 3rd Ann. SEM Symp., Chicago, I.I.T. Res. Inst. pp. 385~390, 1970.

(1976.7.12・受付)

MARUI MIV-4600 電気油圧サーボシステム

電気油圧式 振動疲労試験機



MIV-4600シリーズは中小規模・材料・構造物・構造物模型
部品等の実働波による振動・疲労試験に最適品です。

特長 ◆ 振動、疲労波形を任意の波形運転することができます。

(正弦・三角・矩形・複合・ランダム・磁気テープ入力による運転も可能)

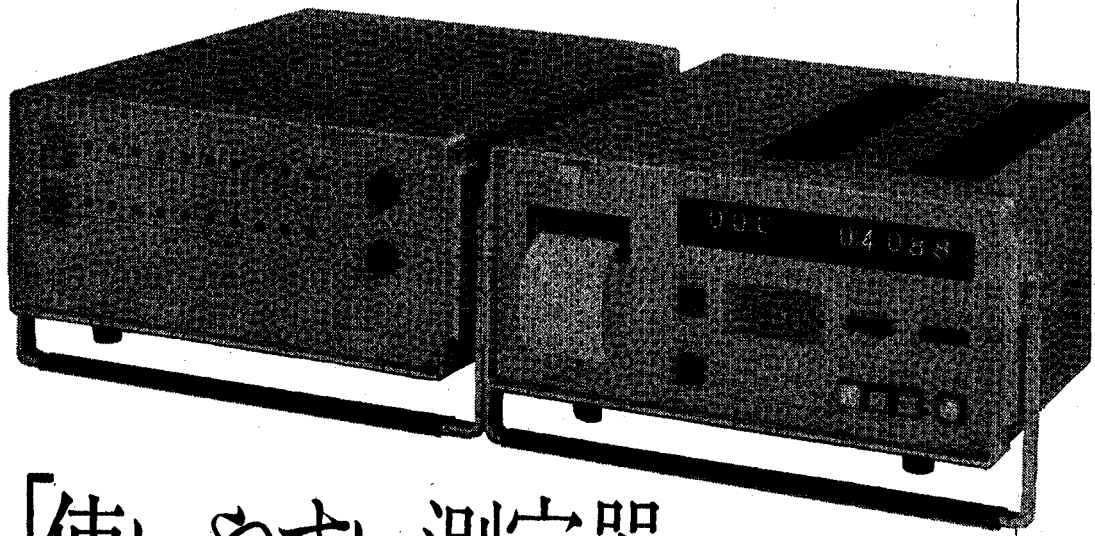
- ◆ 制御方式を広い範囲に選択することができます(荷重・変位・加速度の制御が可能)
- ◆ 複数の加振器を組合せて同時に運転できます(振巾・位相等を変えて運転が可能)
- ◆ 出力は±50ton～±100kg各種製造いたしています。
- ◆ 任意の場所で設置し試験が可能です。



土木建築用材料試験機

株式会社 **マルイ**

東京営業所 東京都港区芝公園2丁目9-12 ☎東京 (03) 434-4717
大阪営業所 大阪市城東区蒲生町4丁目15 ☎大阪 (06) 934-1021
名古屋営業所 名古屋市中村区牧野町5丁目10 ☎名古屋 (052) 452-1381
九州営業所 福岡市博多区比恵町4番17 ☎福岡 (092) 411-0950



「使いやすい測定器」と
 ご好評をいただいております。

初期値記憶式—バランス調整不要

共和の携帯型デジタルひずみ測定器
SD-500A, ASB-50A

計測開始時に測定点の初期不平衡出力をコアメモリに記憶し、次に負荷時のひずみを測定し、すでに記憶している初期不平衡分とを演算し、真のひずみを求めます。ひずみ値は、デジタル表示すると共に、内蔵プリンタでプリントアウトします。

小型、軽量、可搬型で現場向。実験室用としてラックタイプもあります。また自動無人計測用のオプション機器の準備があり、データ解析処理のためのパーソナルコンピュータにも接続できます。

- 特長**
- 調整時間が大幅に短縮できる
 - 計測時間は1点あたり0.5秒以下
 - 直流ブリッジ電源採用により、高精度な測定ができる
 - 測定点の開始、終了の任意設定可能
 - オプション機器が豊富

- 仕様**
- 測定範囲………0～±39999×10⁻⁶ひずみ
 - 計測時間………0.5秒/点
 - 多点切換点数……20点(カスケード接続10台)
50点(カスケード接続4台)
 - ゲージブリッジ
回路切換………1、2、4枚ゲージ法、全点共通または単独切換
 - 精度………±(指示値0.1%+2数値)
 - 電源………AC100V
 - 寸法………350×160×400mm

- オプション機器**
- デジタルクロック ASC-50A
 - スタータ AST-50A
 - 紙テープさん孔装置 OPC-50A
 - ケーブルアダプタ

未来をひらく電子計測器メーカー
共和電業株式会社

- 本社・工場
 東京都調布市調布ヶ丘3の5の1
 電話=0424-87-2111(大代)
- 東京営業所
 東京都港区芝西久保明舟町19
 電話=03-502-3551(大代)
- 大阪営業所
 大阪府東区森之宮東之町544(三双ビル)
 電話=06-942-2661(代)
- 名古屋営業所
 名古屋市千種区田代町字瓶杖1の57(東山大木ビル)
 電話=052-762-2521(代)
- 福岡営業所
 福岡市博多区博多駅東2の5の20(松永ビル)
 電話=092-411-6744(代)
- 広島営業所
 広島市東白島町5の9(くまさビル)
 電話=0822-21-9536
- 札幌営業所
 札幌市中央区南四条西9丁目(観光ビル)
 電話=011-261-7629
- 水戸営業所
 水戸市上水戸2の6の5
 電話=0292-25-1074