

関東ロームの圧密特性に及ぼすシキソトロピー効果

防衛大学校 学生会員 ○吉津考浩・正垣孝晴
(株) 竹中工務店 技術研究所 金田一広
(財) 地域地盤環境研究所 北田奈緒子

1. はじめに

関東ロームを用いて約 80 年前に築造されたアースダム堤体の不攪乱試料の一軸圧縮強さ q_u は 130 kPa 程度であり、その練り返し土の q_u は 10 kPa と小さかった¹⁾。著者ら²⁾は、関東ロームのシキソトロピーによる強度発現のメカニズムの解明を目指して、当該ダム堤体の関東ローム (Dam ローム) と同じ堆積年代の関東ロームとして防衛大学校のキャンパスに堆積する関東ローム (NDA ローム) の静置養生による強度特性を検討してきた。

本稿は、その継続研究として Dam と NDA ロームに対し、一定温度と含水比下で発現される練り返した関東ロームの圧密特性の変化を実験的に検討する。

2. 供試土と試験方法

供試土は一連の検討³⁾で用いている Dam ロームと NDA ロームである。Dam と NDA ロームの塑性指数 I_p と両サイトから得たブロックサンプリング試料の一軸圧縮強さ q_u は、両ロームとも 38, 130 kPa 程度である。試料は、17°C の一定温度で含水比 w の変化がないよう、パラフィンコーティングを施して貯蔵した。圧密試験 IL は JIS A1217 に従った。供試体寸法は、養生試料の有効利用の観点から、直径 $d30\text{mm}$ 、高さ $h10\text{m}$ とした。この寸法と通常寸法の圧密特性に差がないことは、 $I_p=22\sim150$ 、 $q_u=25\sim670\text{ kPa}$ の粘性土の範囲で確認している⁴⁾。同じ養生期間に対して複数個の IL 試験を行った。

3. 関東ロームの圧密特性に及ぼす養生期間の影響

圧密試験の結果として、供試体の含水比 w 、初期間隙比 e_0 、体積ひずみ ε_{v0} 、圧密降伏応力 σ'_p 、圧縮指数 C_c 、膨張指数 C_s 、間隙比 e と圧密圧力 p の関係を材令に対してプロットし、それぞれ図-1,2,3,4,5,6,7 に示した。これらの図の (a) と (b) は、NDA と Dam ロームを示している。ここで、 ε_{v0} は有効土被り圧下の間隙比を e_1 とすると、式(1)⁵⁾で示され試料の乱れの指標として用いることができる。本研究では、シキソトロピーによる構造発達側の面を表す指標として扱うことができる。

$$\varepsilon_{v0} = \frac{e_0 - e_1}{1 + e_0} \times 100 (\%) \quad \cdots \cdots (1)$$

各供試体の w は、養生期間を通じて数%低下している。松脂を含むパラフィンによるコーティング処理は問題なく出来ていた。したがって、この含水比の低下は、養生による鉱物組成の変化によって、主に消費された³⁾と考えている。養生による w の低下を反映して、図-2 に示す e_0 も低下しているが、供試体の飽和度はほぼ 100 % である。図-3 に示す ε_{v0} は養生期間が増すと小さくなり、シキソトロピーによる土構造の発達が推察される。

走査型電子顕微鏡を用いた両ロームの微視構造の観察から、養生期間が増すと $2\mu\text{m}$ 程度の粒子が集約し、120 日ではペッドのような団粒構造を形成していることを確認している³⁾。また、粘土鉱物がカルシウム成分と化合した際に形成されるエトリングガイドのような針状鉱物の存在も観察された³⁾。針状鉱物はボンディングによる強度増加に寄与する。 ε_{v0} の低下は上述した微視構造の変化とも符合している。

図-4 と 5 に示す σ'_p と C_c を見ると、これらの値は、養生期間とともに大きくなっている。そして、この傾向にロームの違いはない。ブロックサンプリングで得た不攪乱土の σ'_p と C_c は、NDA ロームで 210 kPa と 1.1 であり、その練り返し土は 45 kPa と 0.75 である。一方、Dam ロームの不攪乱土は、200 kPa と 1.6、その練り返し土は、110 kPa と 0.75 である。養生 30 日の NDA ロームの σ'_p と C_c は、110 kPa と 0.8、そして養生 226 日の Dam ロームでは、190 kPa と 1.1 に回復している。シキソトロピーによる強度特性の回復^{2,3)}は大きいだが、図-4 と 5 の結果はそれらの結果とも符合している。一方、 C_s に関しては、養生期間に対して特徴的な傾向は見られない。

養生による圧密特性の変化の傾向を代表する供試体として、図-1～6 の○記号のプロットに相当する供試体の e と p の関係を図-7 に、そしてこれらの供試体に対する試験値を表-1 に示す。NDA ロームの堆積期間は、約 2

キーワード シキソトロピー 関東ローム 圧密特性

連絡先 〒239 - 8686 神奈川県横須賀市走水 1 - 10 - 20 防衛大学校 E-mail: shogaki@nda.ac.jp

万年, Dam ロームは築造して約 80 年が経過している。不攪乱試料の供試体はこのような地盤からブロックサンプリングで得ている。養生期間が増すと、微視構造の変化(剛性の増加)を反映して、同じ p 下で発揮される e の減少が小さくなるので、 e - $\log p$ 曲線は不攪乱試料のそれに近づくことになる。図-7 はそのような特徴を明瞭に示している。シキソトロピーは関東ロームの圧密特性にも大きく影響することが、これらの図から明らかである。

先の検討³⁾から得たシキソトロピーによる一軸圧縮強さ q_u と同じ養生期間で得た σ'_p を図-8 に比較した。シキソトロピーによる q_u と σ'_p の間には両ロームともに正の関係が見られる。シキソトロピーによる q_u の増加は、結晶化鉱物の灰長石 An ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) の増加に起因することを先の検討³⁾で示した。 σ'_p をこの時の検討で得たシリカゲルに対する灰長石の混合比 C_a と q_u の関係から得た C_a にプロットして図-9 として示す。両ロームともに C_a と σ'_p の間には正の関係が見られる。シキソトロピーによる灰長石の結晶化は q_u のみでなく C_a と σ'_p の増加にも寄与している。

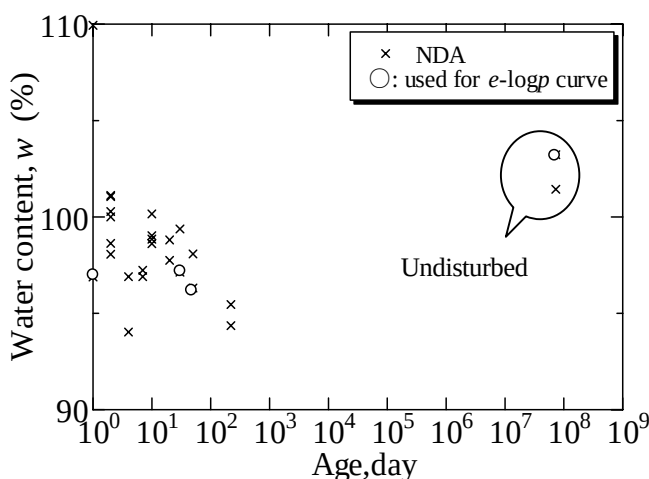


図-1 (a) 含水比と養生期間の関係 (NDA loam)

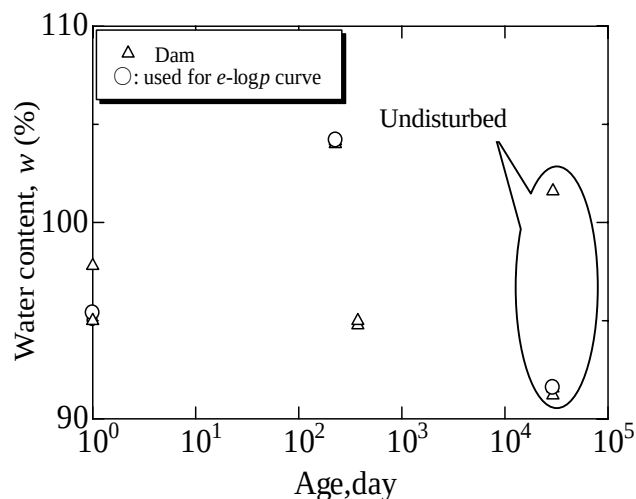


図-1 (b) 含水比と養生期間の関係 (Dam loam)

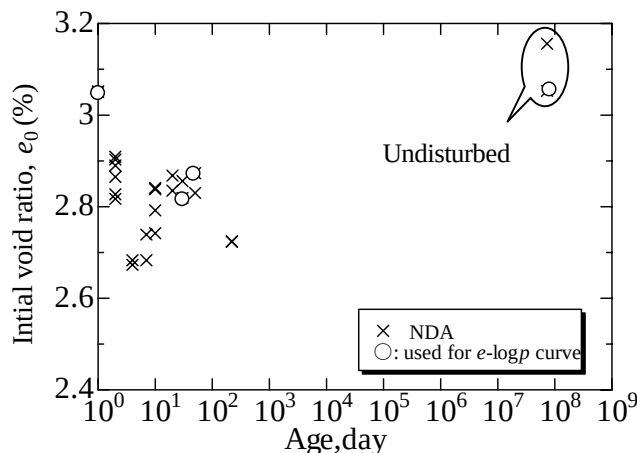


図-2 (a) 初期間隙比と材齢の関係 (NDA loam)

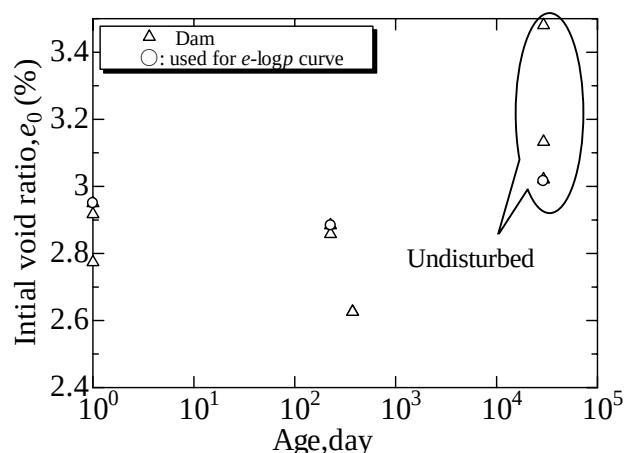


図-2 (b) 初期間隙比と養生期間の関係 (Dam loam)

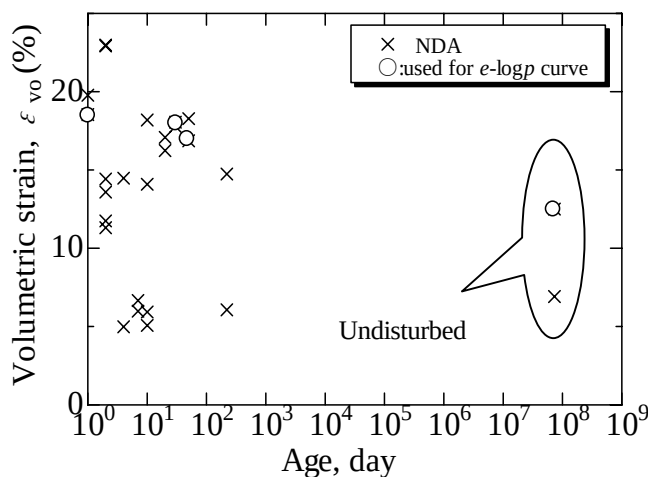


図-3 (a) 体積ひずみと養生期間の関係 (NDA loam)

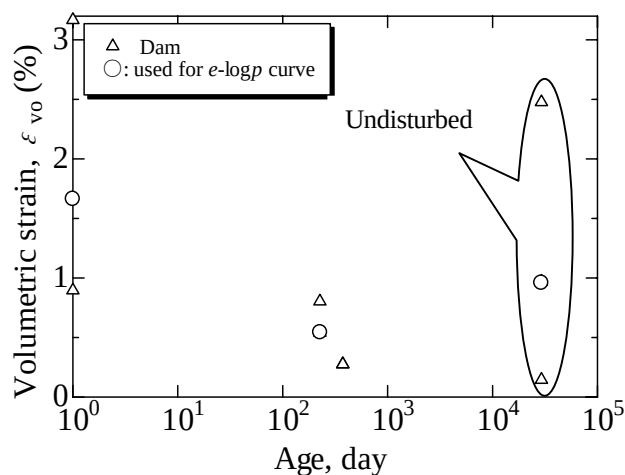


図-3 (b) 体積ひずみと養生期間の関係 (Dam loam)

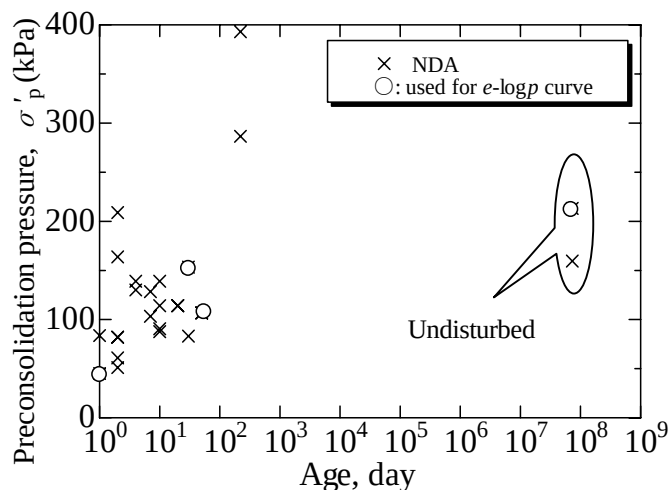


図-4 (a) 圧密降伏応力と養生期間の関係 (NDA loam)

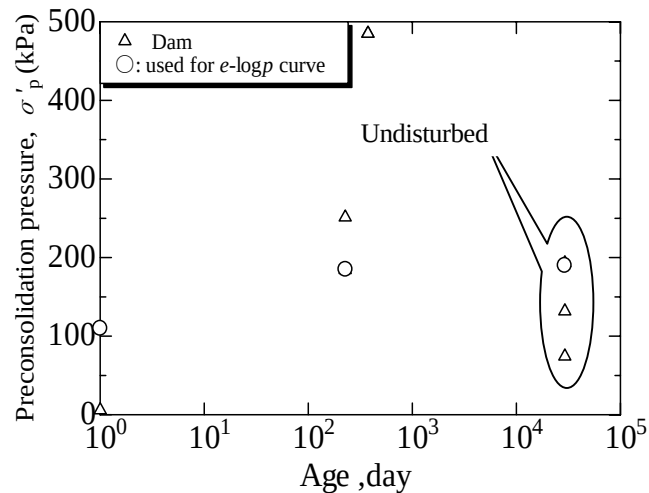


図-4(b) 圧密降伏応力と養生期間の関係 (Dam loam)

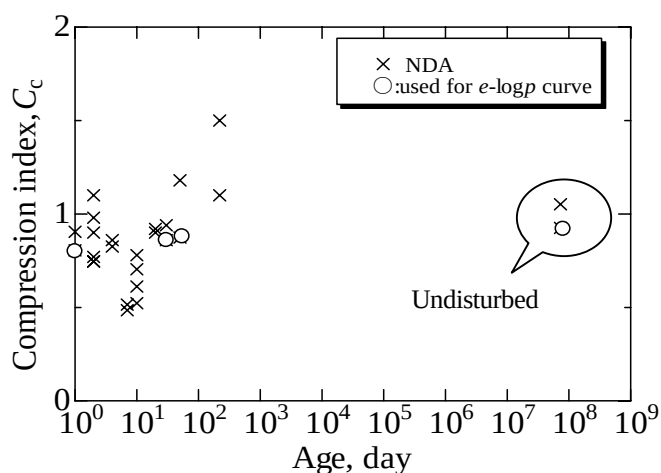


図-5 (a) 圧縮指数と養生期間の関係 (NDA loam)

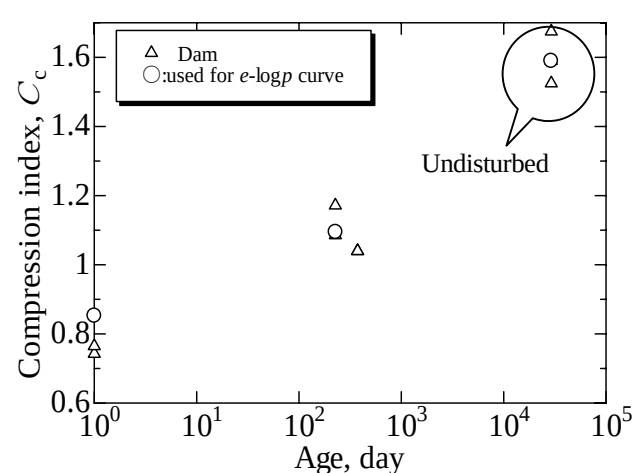


図-5 (b) 圧縮指数と養生期間の関係 (Dam loam)

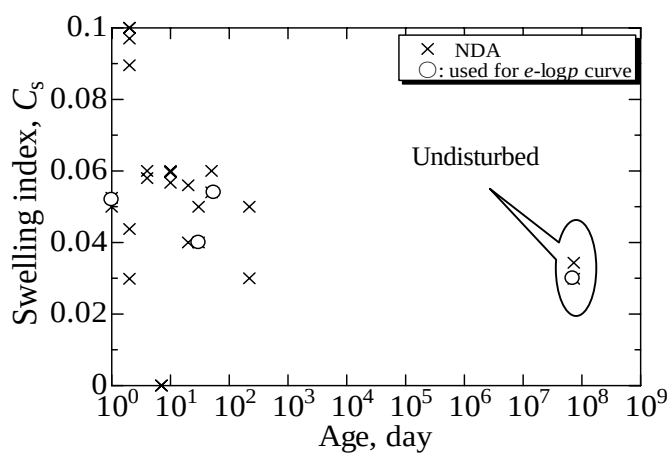


図-6 (a) 膨張係数と養生期間の関係 (NDA loam)

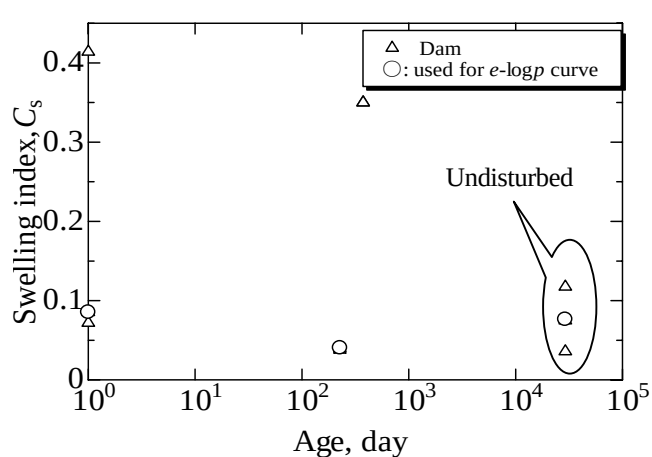


図-6 (b) 膨張係数と養生期間の関係 (Dam loam)

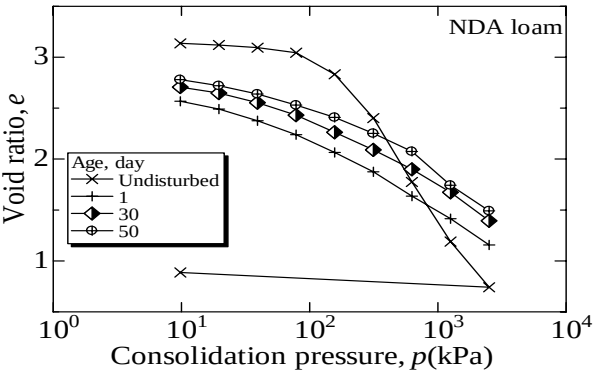


図-7(a) e と $\log p$ の関係 (NDA loam)

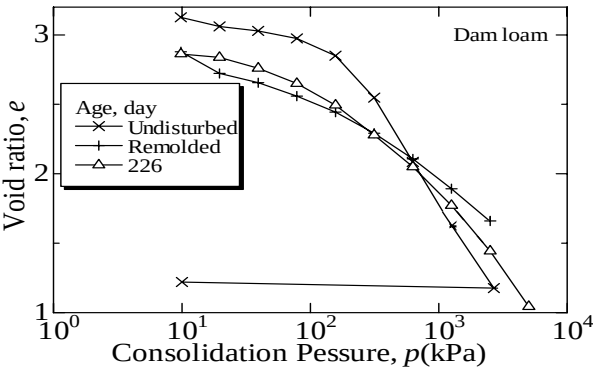


図-7(b) e と $\log p$ の関係 (Dam loam)

表-1 w , e_0 , ε_{vo} , σ'_p , C_c , C_s の結果 (図-7)

4. おわりに

本稿の主要な結論は以下のように要約される。

- 1) ブロックサンプリングで得た不攪乱土の σ'_p と C_c は、NDA ロームで210 kPaと1.1であり、その練り返し土は45 kPaと0.75であった。一方、Dam ロームの不攪乱土は、200 kPaと1.6、その練り返し土は、110 kPaと0.75であった。養生30日の

NDAロームの σ'_p と C_c は、110 kPaと0.8、そして養生226日のDam ロームでは、190 kPaと1.1に回復した。シキソトロピーによる強度特性の回復^{2,3)}は大きいですが、圧密特性の結果はそれらの結果とも符合した。

- 2) 微視的構造の観察から、養生期間が増すと、2 μ m 程度の粒子が集約し、120 日ではペッドのような団粒構造に加え、カルシウム成分と化合した際に形成されるエトリンガイトのような針状鉱物も確認された。養生期間の増加による圧密特性の変化は、このような微視構造の変化とも符合した。
- 3) シキソトロピーに起因した q_u と σ'_p の増加には正の関係があった。また、養生期間の増加による灰長石の結晶化は、強度特性のみでなく、圧密特性にも大きく寄与した。

参考文献

1) 正垣・高橋・熊谷(2008): 既設アースダム堤体の耐震性能評価法ーレベル1地震動を想定してー, *地盤工学会誌*, Vol.56, No.2, pp.24-26.

2) Shogaki, T., Nagasaka, M., Kumagai, N., Kaneda, K. and Kitada, N. (2008): Undrained thixotropic hardening on strength properties of clayey soils, *Proccdings of 2nd Japan-Korea Geotechnical Workshop*, 123-127.

3) 吉津・熊谷・正垣・北田・金田(2008): 一定温度と含水比下で生成される練り返した関東ロームの結晶化と強度変化, *地盤工学会関東支部発表会*, pp.111-111.

4) Shogaki, T. (2006): Effects of specimen size on consolidation parameters of marine clay deposits, *Journal of ASTM International*, Vol. 3, No.5, pp.106-118.

5) Shogaki, T. (1997): A method for correcting consolidation parameters for sample disturbance using volumetric strain, *Soils and Foundations*, Vol. 36, No.3, pp.123-131.

Specimen	Age, (day)	w (%)	e_0	ε_{vo} (%)	σ'_p (kPa)	C_c	C_s
NDA	2 万年	103	3.05	6.92	213	0.93	0.03
NDA	(1)	96	3.05	19.77	45	0.81	0.05
NDA	(30)	97	2.82	17.78	153	0.94	0.04
NDA	(50)	98	2.87	16.86	106	0.87	0.06
dam	80 年	92	3.13	0.145	193	1.59	0.04
dam	(0)	95	2.91	0.894	109	0.74	0.08
dam	(226)	104	2.88	0.541	184	1.09	0.04

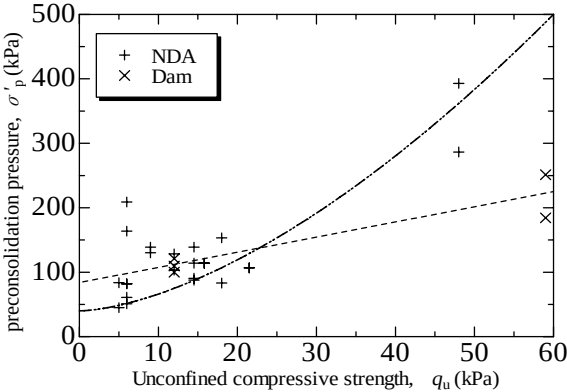


図-8 σ'_p と q_u の関係

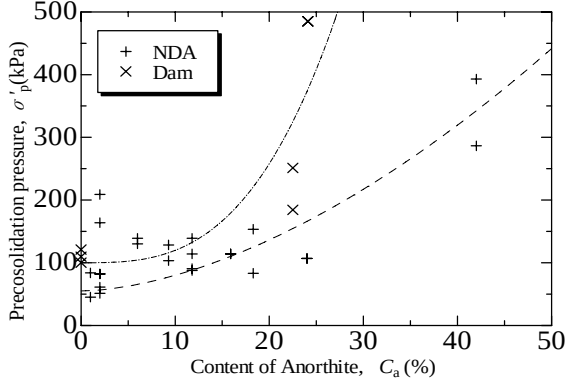


図-9 σ'_p と C_a の関係