

砕石材料の変形係数に及ぼす繰り返し载荷の影響 II

——単調载荷時の変形係数に及ぼす影響——

Effect of Cyclic Prestraining on Deformation Characteristics of a Crushed Sandstone

——Monotonic Loading Tests——

孔 憲 京*・龍 岡 文 夫**・佐 藤 剛 司**

木 幡 行 宏**・小 長 井 一 男*

Xian Jing KONG, Fumio TATSUOKA, Takeshi SATO,

Yukihiro KOHATA and Kazuo KONAGAI

1. は じ め に

前報 (孔ら, 1992) で結果の一部を報告した砕石の大型三軸試験によって得られた繰り返し载荷の履歴に引き続き行った単調载荷試験における変形係数に及ぼす影響を詳しく解析する。

2. 試 験 結 果

図9は、間隙比が類似な Virgin 供試体と Prestrained 供試体の単調载荷三軸圧縮試験における $q \sim \text{LDT}$ で測った ε_a 関係の比較である。また、図9に対応する $q \sim$ 局所的に測定したせん断ひずみ $\gamma = \varepsilon_a - \varepsilon_r$ 関係を図10に示す。これらの図より、0.001%程度以上ではひずみレベルが大きくなるに従って繰り返し荷重を受けた Prestrained 供試体の剛性は Virgin 供試体の剛性よりも非常に大きくなっていることがわかる。しかし、それよりも小さな微小ひずみレベルでは、両者の剛性に大きな差がないことが注目できる。

一方、繰り返し载荷履歴の程度が異なる二つの Prestrained 供試体 ($e_{\text{initial}} = 0.677, 0.692$) の結果の比較を図11, 12に示すが、間隙比が大きな供試体の方が、微小ひずみレベルでの剛性は若干大きいことがわかる。これは、繰り返し载荷履歴によって微小ひずみレベルでの変形係数が若干 (約20%) 増加したことを示している。

単調载荷での微小ひずみレベルでのヤング率 E_{max} と単調载荷開始の間隙比の関係を図13示す (○, ●印のデータポイント)。なお、この図で△, ▲印のデータポイントは微小ひずみレベルでの繰り返し载荷で変形係数 ($E_{\text{sec}})_{\text{max}}$ である (詳細は後述)。この図からも、上に述べた結果がわかる。このような繰り返し载荷履歴による間隙比の減少では説明がつかない微小ひずみレベルで

の変形係数の増加は、緩詰め豊浦砂での同様な実験 (Teachavorasinskun et al., 1991) でも見られた。その原因は明瞭ではないが、緩い供試体の場合は繰り返し载荷履歴により若干の間隙比の減少を伴った供試体の粒子構造の変化が生じやすく、これが供試体の剛性を増加させるものと思われる。

単調载荷試験での割線変形係数 (Secant modulus) は、 $E_{\text{sec}} = q / \varepsilon_a$ で定義される。ここで、 $q = \sigma_1 - \sigma_3$ と σ_a は载荷開始から所定の時点までの偏差応力と軸ひずみである。図14~16に E_{sec} と ε_a (対数) の関係を、図17~19に接線変形係数 (Tangent modulus) $E_{\text{tan}} = dq/d\varepsilon_a$ と ε_a (対数)、応力レベル q の関係を示す。繰り返し载荷履歴によって変形係数の線形性が增加すること、繰り返し载荷履歴が大きいと E_{max} が若干増加することがわかる。また $\sigma_a = 0.05$ 程度で、Virgin 供試体ではすでに E_{tan} は E_{max} の40%程度以下まで低下しているが、Prestrained 供試体の E_{tan} は E_{max} と殆ど変わらない。また、 ε_a が0.05%を越えると Prestrained 供試体の E_{tan} は非常に急激に低下する。さらに、Virgin 供試体と Prestrained 供試体の E_{tan} の差は $q/q_{\text{max}} = 0.5$ (0.75/1.501) 程度の時に最も大きく、前者の E_{tan} は E_{max} の約1/10程度以下になっているが、Prestrained 供試体の E_{tan} は E_{max} の80%程度である。また、さらに応力レベルが増加すると Prestrained 供試体の E_{tan} は非常に急激に低下する。この急激な低下が始まるときの偏差応力は $q = 1.0 \text{ kgf/cm}^2$ であり主応力比は大略6.5であるが、これは繰り返し载荷履歴中の三軸圧縮応力状態での最大の主応力比7.5に大変近い。また、 $E_{\text{sec}}/E_{\text{max}}$ と q/q_{max} の関係を図20~図22に示す。これらの図でも、Virgin の供試体の $E_{\text{sec}}/E_{\text{max}}$ は q/q_{max} により漸次に減少するが、Prestrained の供試体の $E_{\text{sec}}/E_{\text{max}}$ は $q/q_{\text{max}} = 0.6$ から急激に低下する。

Dong et al. (1992) が行った異なる砕石試料を用い

* 東京大学生産技術研究所 第1部

** 東京大学生産技術研究所 第5部

研究速報

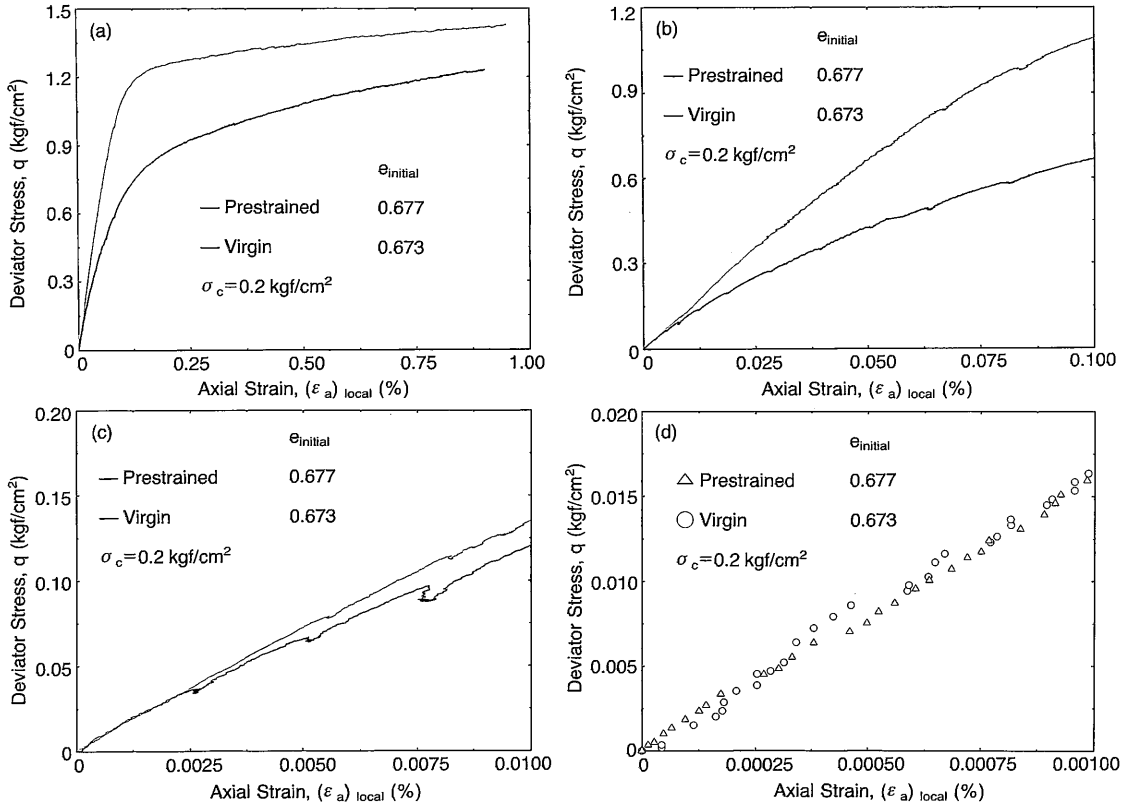


図-9 異なるひずみの範囲での応力～局所圧縮から求めた軸ひずみ (Local) 関係: Prestrained 供試体と Virgin 供試体の比較

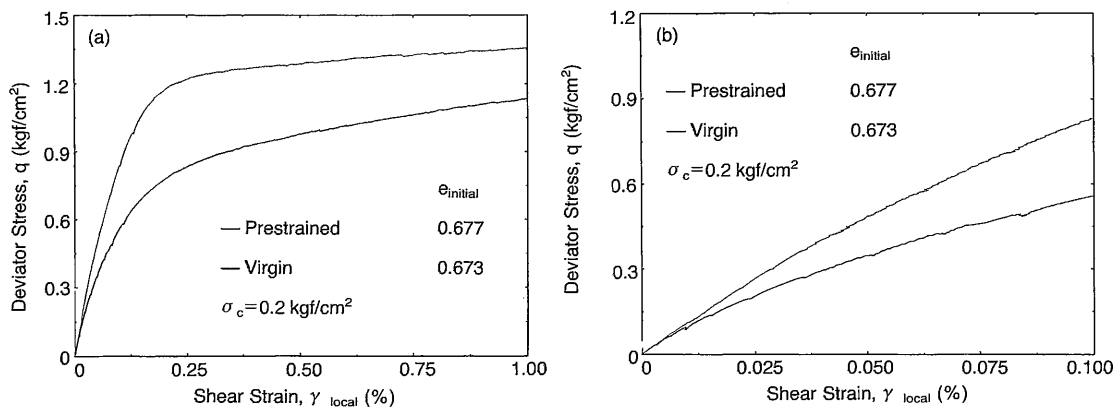


図-10 異なるひずみの範囲での応力～せん断ひずみ (Local) 関係: Prestrained 供試体と Virgin 供試体の比較 (次ページに図-10(c)(d))

た同様な大型三軸試験で、繰り返し载荷履歴をさらに激しく加えた後の単調载荷三軸圧縮試験では、Prestrained 供試体の E_{tan} は q の増加とともに増加し、繰り返し载荷履歴中の最大の応力レベルのときに E_{tan} が最大値になった。以上のことから、繰り返し载荷履歴による E_{tan} の増加の程度は繰り返し载荷履歴の程度の関数

であると言える。

3. ま と め

碎石の変形係数は、繰り返し载荷履歴によって大きく増加するが、微小ひずみレベルでの増加は大きくない。特に、ひずみレベルと応力レベルが増加すると繰り返し

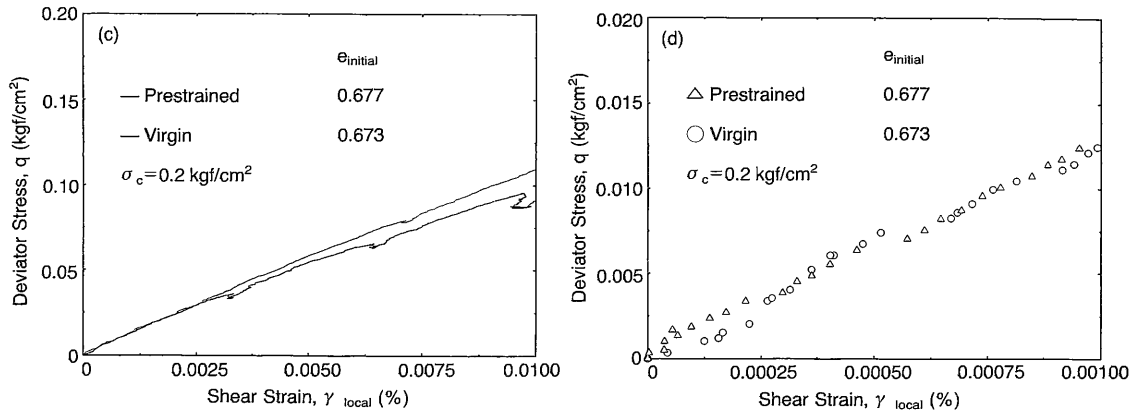


図-10 異なるひずみの範囲での応力-せん断ひずみ (Local) 関係: Prestrained 供試体と Virgin 供試体の比較

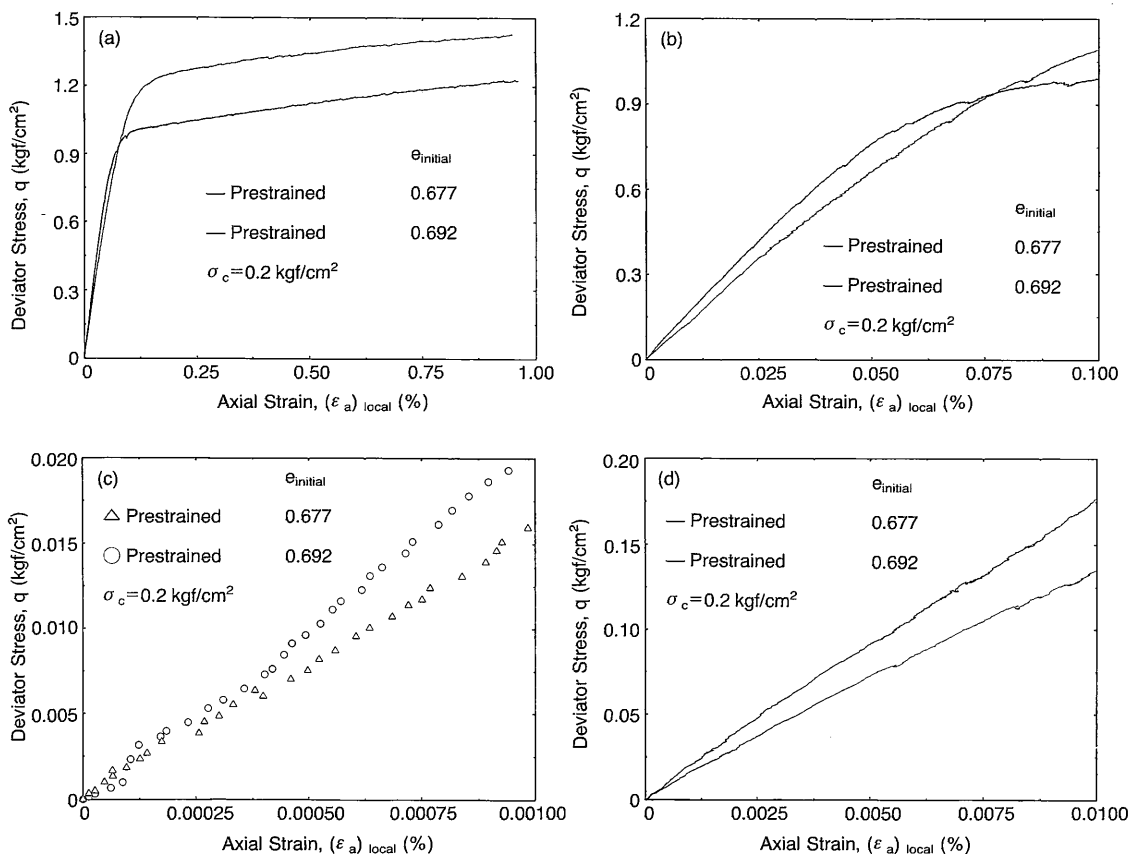


図-11 異なるひずみの範囲での応力~局所圧縮から求めた軸ひずみ (Local) 関係: 二つの Prestrained 供試体の比較

研究速報

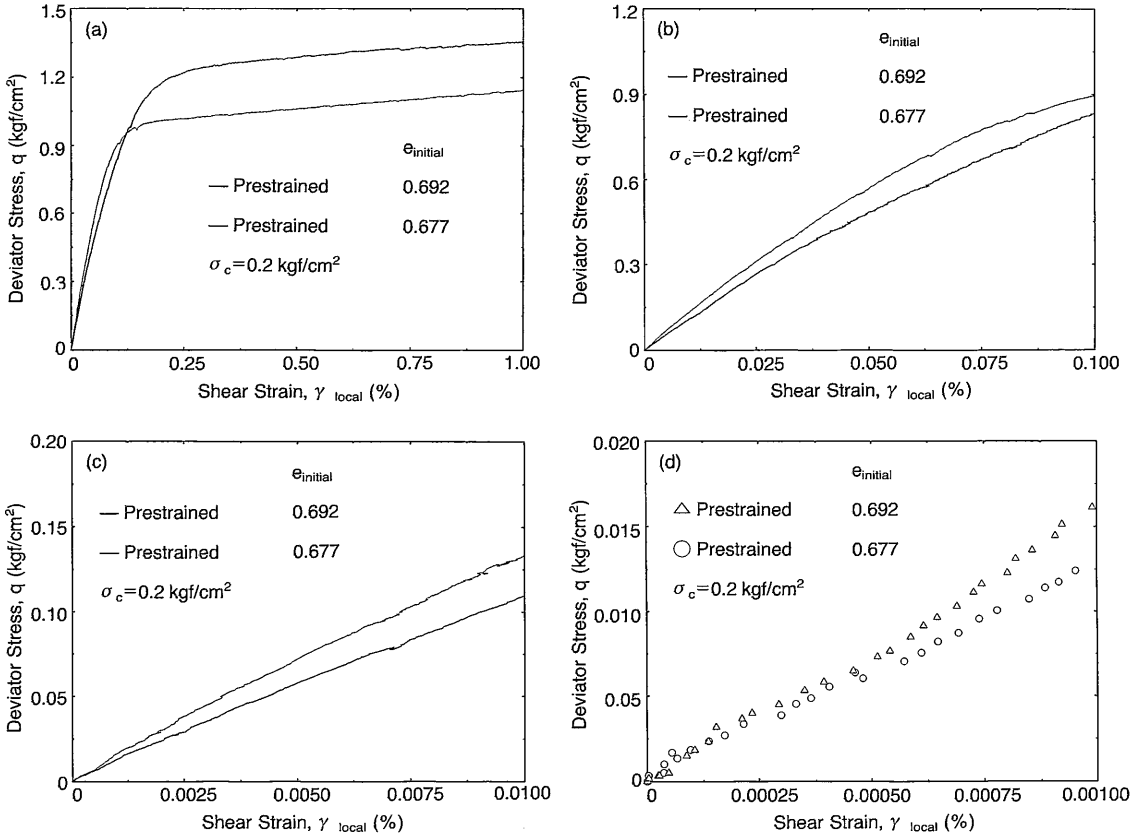


図-12 異なるひずみの範囲での応力-せん断ひずみ (Local) 関係: 二つの Prestrained 供試体の比較

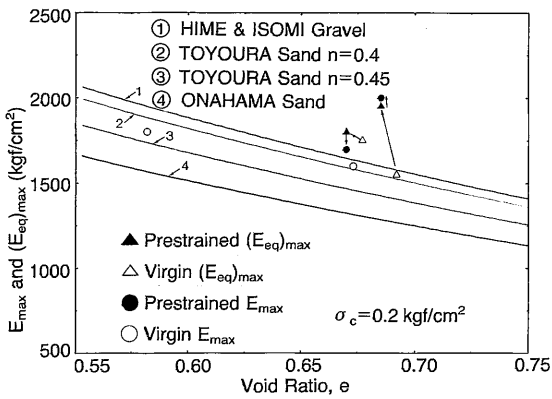


図-13 単調荷重試験での E_{max} および繰り返し荷重試験での $(E_{eq})_{max}$ と荷重開始時の空隙比の関係: Prestrained 供試体と Virgin 供試体の比較

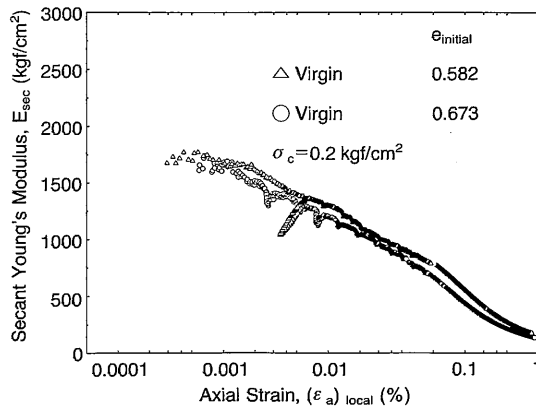


図-14 E_{sec} と ϵ_a (対数) の関係: Virgin 供試体の比較

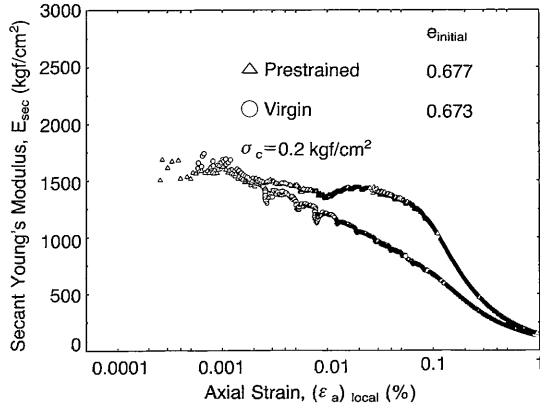


図-15 E_{sec} と ϵ_a (対数) の関係: Virgin 供試体と Prestrained 供試体の比較

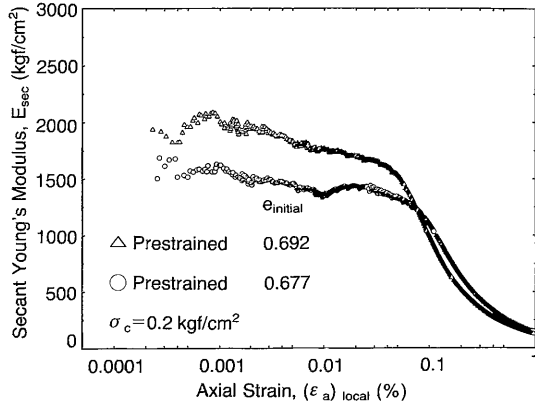


図-16 E_{sec} と ϵ_a (対数) の関係: Prestrained 供試体の比較

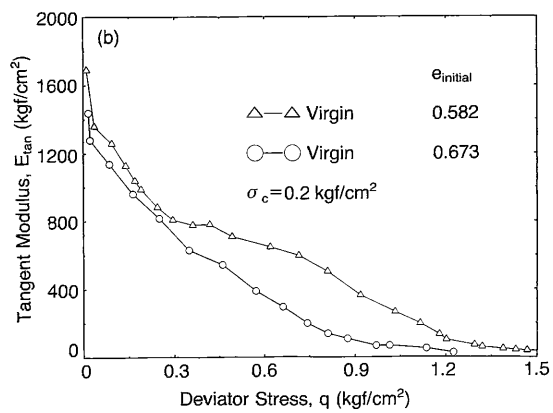
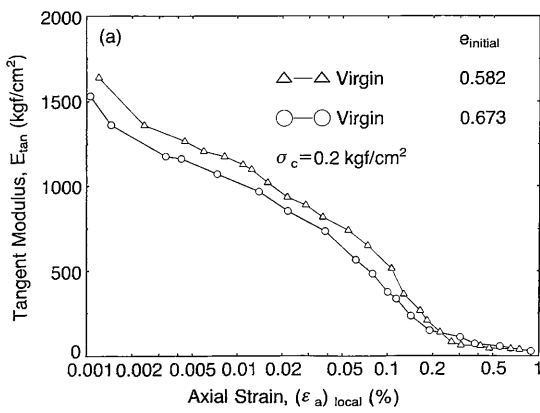


図-17 E_{tan} と(a) ϵ_a (対数) および(b) q の関係: Virgin 供試体の比較

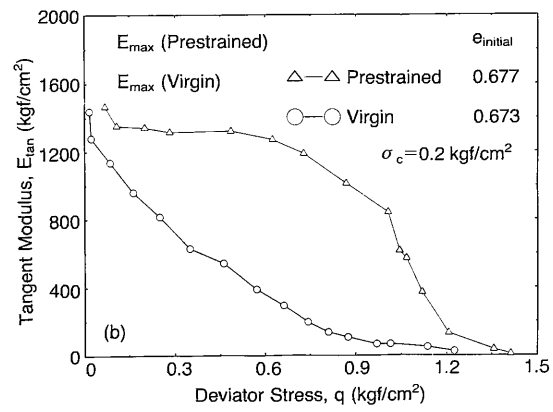
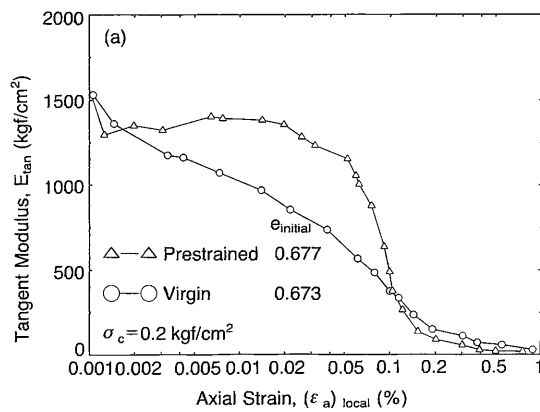


図-18 E_{tan} と(a) ϵ_a (対数) および(b) q の関係: Virgin 供試体と Prestrained 供試体の比較

研 究 速 報

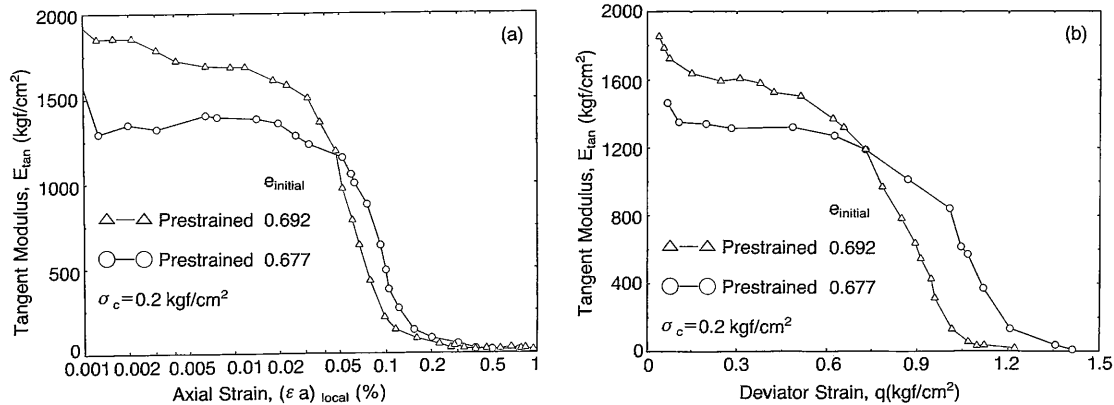


図-19 E_{tan} と (a) ϵ_a (対数) および (b) q の関係: Prestrained 供試体の比較

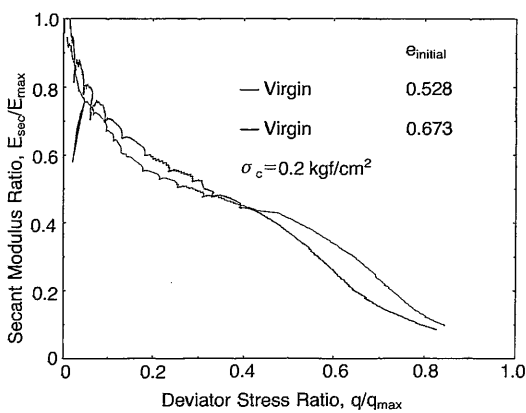


図-20 $E_{sec}/E_{max} \sim q/q_{max}$ 関係: Virgin 供試体の比較

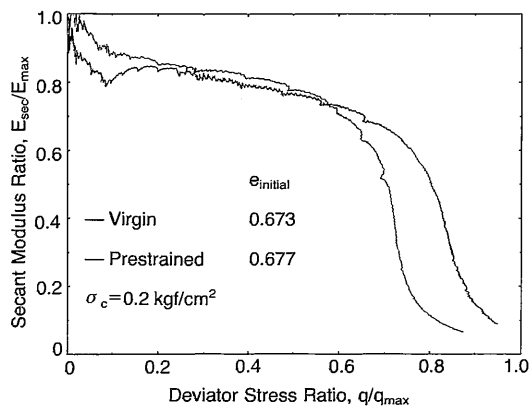


図-22 $E_{sec}/E_{max} \sim q/q_{max}$ 関係: Prestrained 供試体の比較

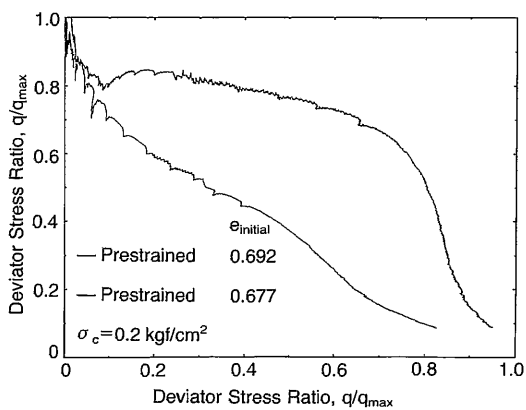


図-21 $E_{sec}/E_{max} \sim q/q_{max}$ 関係: Virgin 供試体と Prestrained 供試体の比較

載荷履歴によって接線変形係数 E_{tan} は大きく増加する。しかし、あるひずみレベル・応力レベル以上になると prestrained 供試体の E_{tan} は非常に急激に低下する。また、その増加率は繰り返し載荷履歴の程度の関数のようである。
(1992年4月16日受理)

参 考 文 献

- 7) 孔 憲京, 龍岡文夫, 佐藤剛司, 小長井一男, 砕石材料の変形係数に及ぼす繰り返し載荷の影響, 一試験方法および強度一, 生産研究, Vol. 44, No. 6, 1992. 6
- 8) Dong, J., Tatsuoka, F. and Sato, T. (1992): Effects of Cyclic Prestraining on Stress-Strain Behaviour of Gravel in Triaxial Test, Proc. 27th Japan National Conf. on SMPFE, JSSMFE, Kochi (to appear)