

壁体の移動による土圧挙動に関する研究

藤村 尚¹⁾・長谷川慎一²⁾・池添 保雄¹⁾
西村 強¹⁾・木山 英郎¹⁾

¹⁾土木工学科・²⁾基礎地盤コンサルタンツ(株)

(1996年8月28日受理)

Lateral Earth Pressure on Retaining Wall

by

Hisashi FUJIMURA¹⁾, Shinichi HASEGAWA²⁾, Yasuo IKEZOE¹⁾
Tsuyoshi NISHIMURA¹⁾ and Hideo KIYAMA¹⁾

¹⁾Department of Civil Engineering・²⁾Kisojiban, Co. LTD.

(Received August 28, 1996)

A series of two-dimensional model tests are performed to investigate the magnitude of lateral pressure between a soil mass and an adjoining earth-retaining wall.

The results of experiments showed the relationship between lateral pressure and particle arrangements.

We look into a typical figure of surface settlement and a development of failure zone as a result of wall displacement.

Key words : Earth retaining wall, Active pressure, Passive pressure, Settlement, Model test

1. はじめに

近年、粒状体砂地盤や不連続性岩盤を対象とする数値解析法としてDEM^{1)~2)}がよく用いられている。著者らは従前から、この解析法の基礎理論とプログラミングの開発、改良に多くの研究を進めてきた^{3)~6)}。今回の主動・受働土圧問題についてもDEM解析を実施して、図-1~2の成果を得ている。

本報告では、DEM解析の実用化支援のために、二次元モデルによる土圧試験を行い、3つの地盤の基本的配列モデルや壁体の変位パターンを変えたときの土圧および地盤の変形等について検討する。

2. 二次元擁壁モデル試験装置の概要

図-3に二次元擁壁モデル試験装置の概要を示す。本試験機では、片側を真鍮製擁壁が自由に水平方向と下端をヒンジとする回転変位できる構造となっている(図-4)。擁壁は極力振動を少なくするために、手動によって変位を与える。変位速度は、1.0mm/minの一定である。この変位は、ダイヤルゲージ等により計測した。擁壁に作用する壁面荷重は、ロードセルにより計測した。地表面変位は、装置上部の架台上をパルスステージとステッピングモータを介して移動できるレーザー式変位計(10μmの精度、測定範囲40mm)で測定する。パルスステージの移動はパーソナルコンピュータで0.2mm/sの一定速度に制御する。ロードセルと変位計で測った荷重、変位をデータロガーに取り込み記録することができる。

モデル試験の地盤材料には、ガラス棒(比重2.23)積

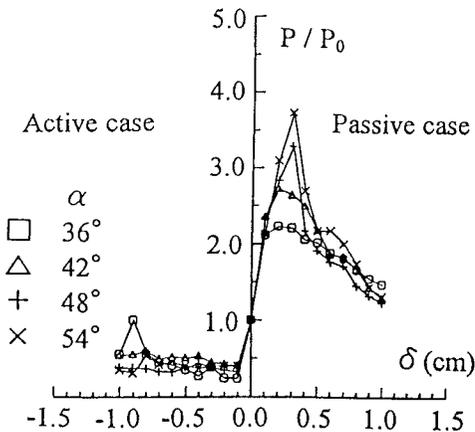


図-1 DEM解析による擁壁の変位と土圧の関係 ($\dot{\delta} = 0.5 \text{ cm/sec}$)

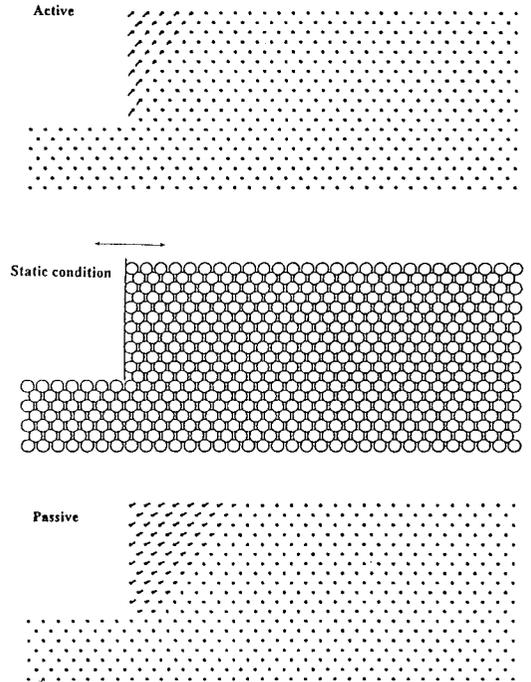


図-2 DEM解析による粒子の変位 ($\dot{\delta} = 0.5 \text{ cm/sec}$, $\alpha = 36^\circ$)

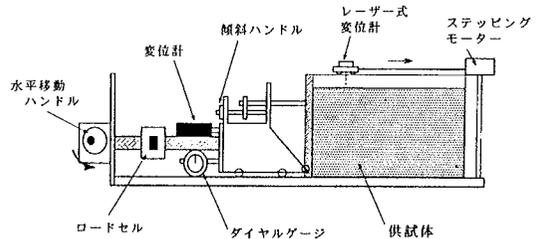


図-3 擁壁モデル試験装置

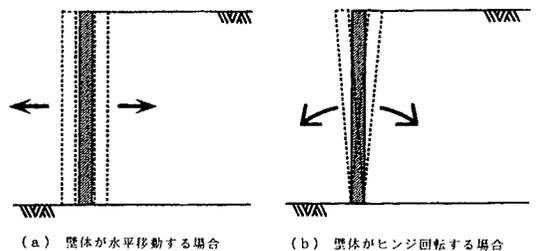


図-4 擁壁の移動形式

層体を用いた。ガラス棒は長さ 50mm で $\phi = 10\text{mm}$ 、重量 8.75g である。

図-5 は、本試験に用いた二次元地盤モデル要素を示している。1 粒子あたりの接点数を 4 として、ガラス棒を左右対称にして最下段に s 個、その上に $(s-1)$ 個の順に繰り返し規則的に配列 ($s/s-1$ 配列と称して) する。今回の積層体では地盤の高さ H を約 190mm、幅 B 約 380mm の縦横比 H/B が 1:2 になる。配列数 6 の最充填状態の積層体と擁壁、および積層間の内部摩擦角 ϕ は約 $17 \sim 18(^{\circ})$ と約 $30(^{\circ})$ である。

3. 結果・考察

3.1 地盤モデルと静止土圧

図-6 は 3 種類の配列を異にする積層体が擁壁に作用す

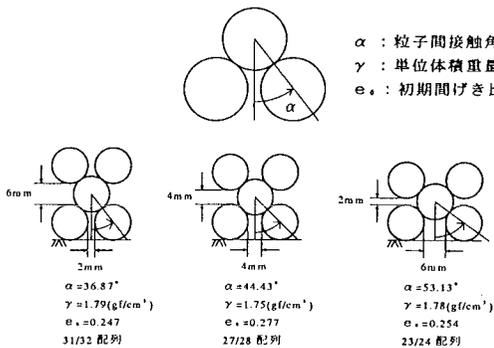


図-5 接触角と積層モデルの配列

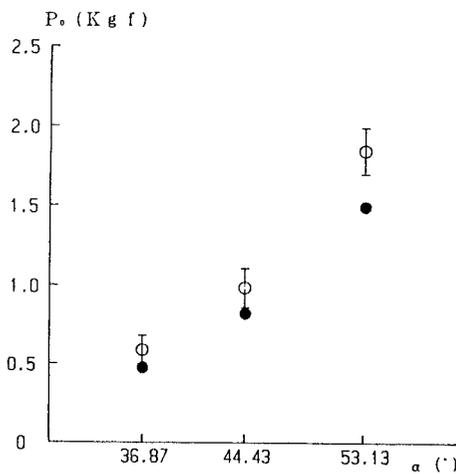


図-6 静止土圧と粒子接触角

る全荷重(静止土圧と呼ぶ)を示している。粒子間接触角 α が大きくなると土圧も増加する。23/24 配列では、粒子間の接触力が水平方向に卓越した配列であり、一方 α の小さい 31/32 配列は、粒子間の接触力が鉛直方向に卓越している。27/28 配列は、接触力が水平と鉛直方向に等しく、上記の 2 配列の中間的性質を示している。なお、今回の境界条件と等径、規則配列の積層体の土圧は $1/2\gamma H^2 \tan \alpha$ により算出して、図中の●印で示されている。このように、粒子配列は静止土圧を支配する要因の一つであることがわかる。

3.2 擁壁の変位と土圧

図-7 は、図-4 (a) のように擁壁の水平方向への移動と主働ならびに受働土圧の関係を示している。静止状態の壁体が、水平方向の移動により土圧が増減する様子わかる。受働状態での土圧の増大やわずかな壁の移動時にみられる土圧の極限値の大きさは粒子配列に依存するところが大きい。一方、主働状態での土圧は、静止土圧から減少して収斂する傾向にある。

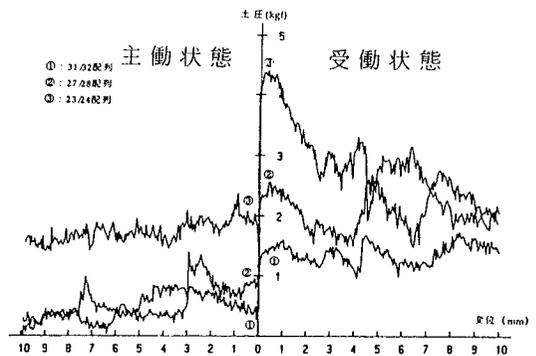


図-7 擁壁の変位と土圧 (壁・水平変位)

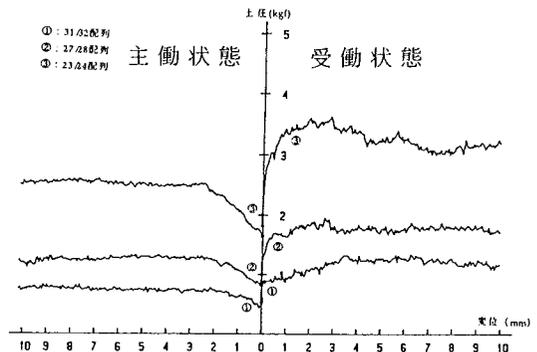
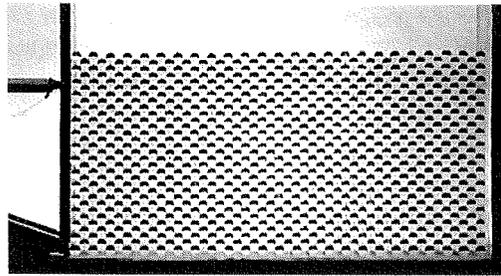


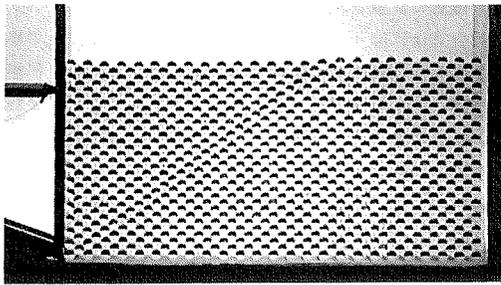
図-8 擁壁の変位と土圧 (壁・回転)



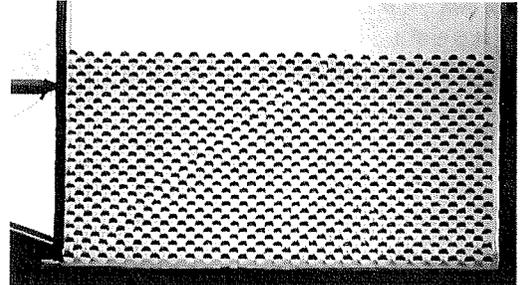
23/24 配列 静止状態

主働状態（水平変位）

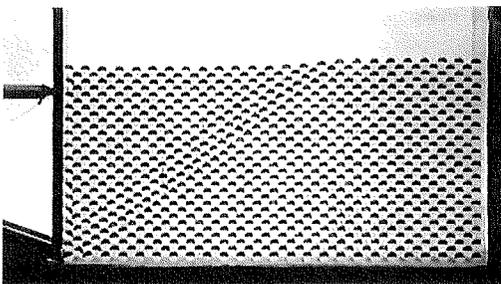
受働状態（水平変位）



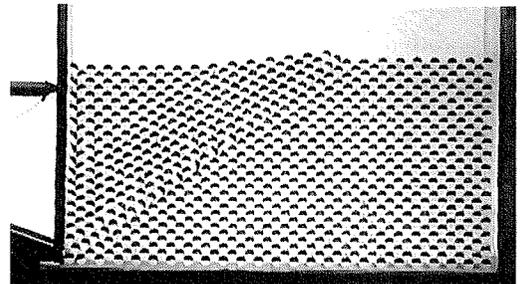
変位 $\delta = 2 \text{ mm}$



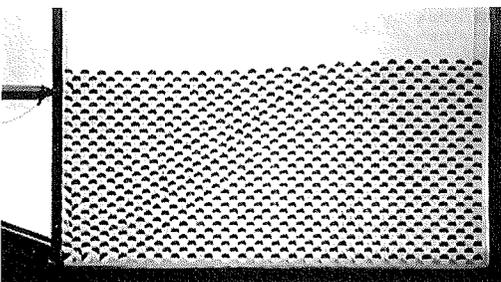
変位 $\delta = 2 \text{ mm}$



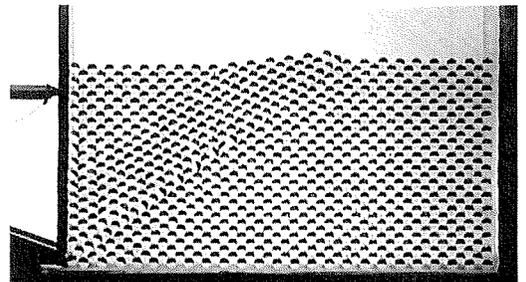
$\delta = 4 \text{ mm}$



$\delta = 4 \text{ mm}$

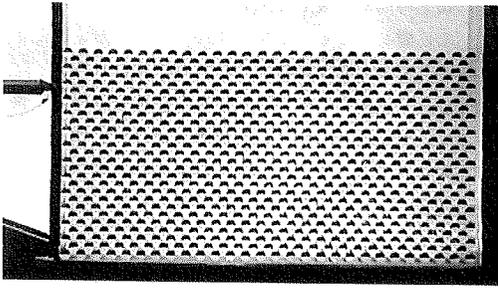


$\delta = 6 \text{ mm}$

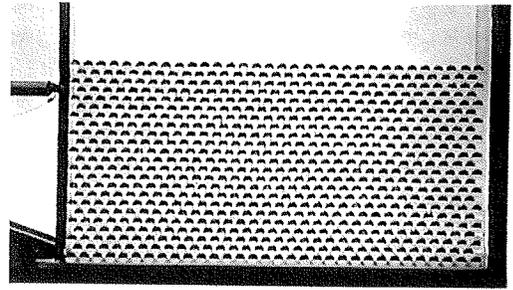


$\delta = 6 \text{ mm}$

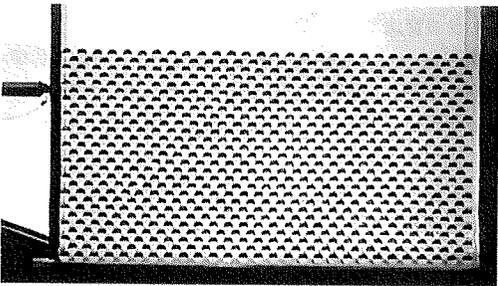
図-9 粒子挙動



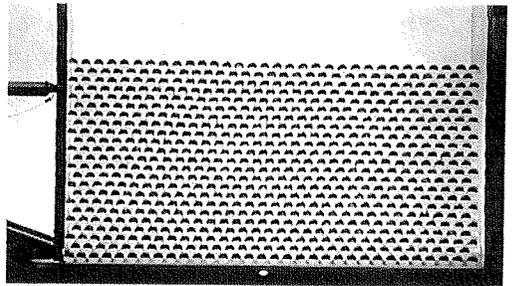
27/28 配列 静止状態



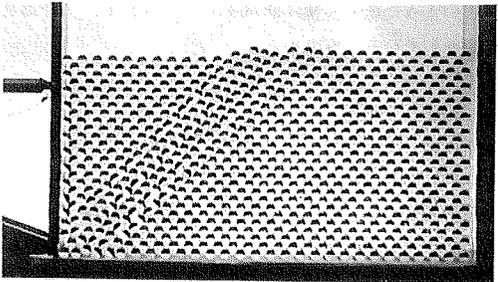
31/32 配列 静止状態



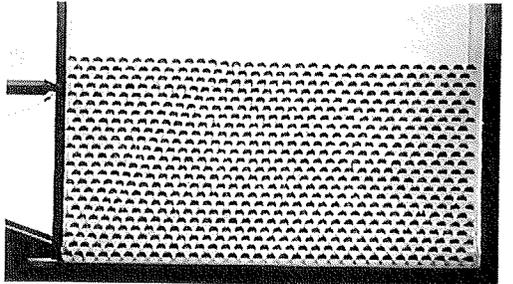
変位 $\delta = 2\text{ mm}$



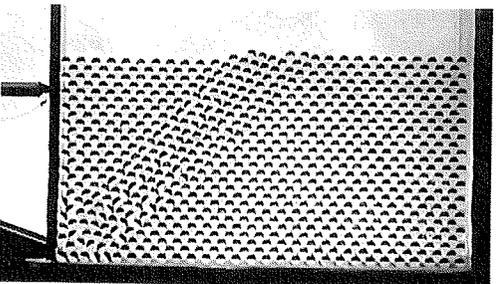
変位 $\delta = 2\text{ mm}$



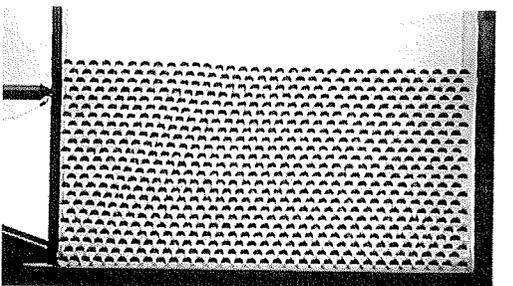
$\delta = 4\text{ mm}$



$\delta = 4\text{ mm}$



$\delta = 6\text{ mm}$



$\delta = 6\text{ mm}$

図-10 粒子挙動 (水平変位, 受働状態)

図-8は、図-4(b)のように擁壁の回転変位と土圧の関係を示している。なお、この変位は壁の下端から16cmにおける水平変位として表わす。これらの土圧変化は、擁壁と粒子の静止領域との間に存在するくさび状領域(図-11)の中にある粒子の挙動に関係している。ここでも粒子配列による土圧への影響は大きい。

このように、擁壁の変位様式により、土圧の大きさも異なることが知れた。

3.3 粒子挙動の概観

図-9, 10は、試験装置の前面からスチールカメラを用いて、壁の変位に伴う粒子の動きの一例を示している。円形の粒子にマジックインクで半円形に塗りつぶして、粒子の回転、並進移動を観察できるようにした。

写真によると、粒子配列ならびに壁の移動方向によって粒子挙動が大いに異なっている。これらの粒子挙動の特徴は、図-11の各領域に分けて述べることにする。

- 1) くさび域では、壁の変位によりくさび状の粒子塊が鉛直方向に移動する。くさび域の下方先端部分では、

粒子の回転が著しく大きく、その方向が異なる。また、壁と接している粒子の回転は、接触位置によって方向と大きさが異なっているのがわかる。

- 2) くさび域と静止域の間に挟まれた流動層にある粒子は、同一方向への回転と並進運動が顕著である。
- 3) 静止域にある流動層に近い粒子は、鉛直方向に隆起と沈下を示すが、流動層から離れるにつれて粒子は静止している。

このような粒子の挙動は、粒子の配列、壁の変位と様式により異なっていることが知れる。

3.4 地表面沈下

図-12は、くさび域にある地表面の粒子を静止状態から壁の変位による粒子の移動を示している。なお、図の原点は流動層の近くで、地表に存在する粒子と、それより壁側にある粒子を対象に示した。

地表面の沈下特性は、主動状態と受働状態では大いに異なり、主動状態では擁壁の変位の増大とともに沈下が増大するが、一方、受働状態では、約2mmの壁の変位で、地表面が隆起し、その後の壁の変位が増大すると沈下を示している。

このように地表面沈下はパターン化されて、土圧の発現と関与しているようである。

3.5 土圧とフラクタル次元

先の図-7, 8の土圧と壁の変位の曲線において、共通してのこぎり歯状の複雑な挙動がみられる。これらは個々の粒子間に回転、滑り、のり越えが繰り返して生じていることに起因するものである。そこで、これらの土圧と壁の変位の関係を詳しく調べるために、フラクタル次元解析を試

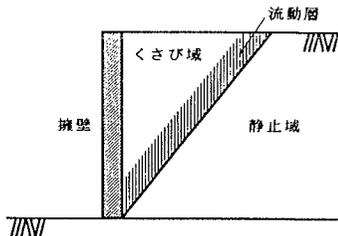


図-11 地盤変形の模式図

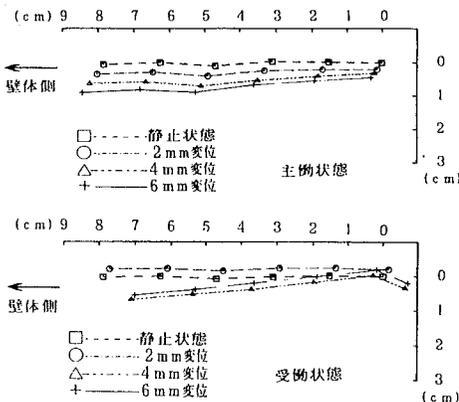


図-12 地表面沈下(23/24配列, 水平変位)

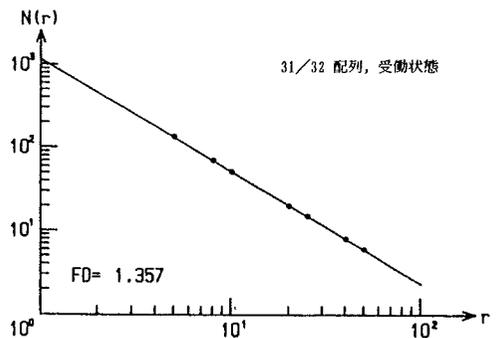


図-13 フラクタル解析例

みた。

フラクタル次元はグリッド法を用いて、パーソナルコンピュータに処理して算出した。図-13は、受働状態での土圧と壁の変位関係についてフラクタル次元解析を行った結果の一例を示している。フラクタル次元FDの値は、 α の増加とともに減少する傾向がみられる。

このように、一見、同じように見える、うねりと凹凸の変化が、フラクタル次元を用いて、うまく整理することができるので、さらに研究を進める予定である。

4. おわりに

本報告では、擁壁の主働及び受働土圧問題のモデル試験を行い、全土圧、全土圧・変位関係、地表面沈下におよぼす壁の変位様式や地盤モデルの影響を検討した。また、主働・受働時の地盤の基本的な挙動を詳細に検討した。実験を通して、DEMが擁壁の土圧問題に対して有用な解析法であることを検証した。

参考文献

- 1) Cunall, P.A. : A Computer Model for Simulating Progressive, Large Scale Movements in Blocky Rock Systems, Symp. ISRM, Nancy, France, Proc. Vol. 2, pp. 129-136, 1971
- 2) Cunall, P.A. : Formulation of a Three-dimensional Distinct Element method Part I. A Scheme to

Detect and Represent Contacts in a System Composed of Many Polyhedral Blocks, Int. J. Rock Mech. Min. Sci., Vol. 25, No. 3, pp.107-116, 1988

- 3) 木山 英郎・藤村 尚：カンドルの離散剛要素法を用いた岩質流状体の重力流動の解析，土木学会論文報告集，第333号，pp.137-146，1983
- 4) 木山 英郎・藤村 尚・二木 隆：粒状体地盤の離散剛要素法解析と模型実験 —地下浅所のトンネルによる変形—，材料，35巻，392号，pp.167-174，1986
- 5) 木山 英郎・藤村 尚・西村 強：せん断モデルを用いた離散剛要素法の材料定数の検討，土木学会論文報告集，No.382/III-7，pp.167-174，1987
- 6) 木山 英郎・藤村 尚・西村 強：DEM解析によるFenner-Pacher型支保特性曲線の実現と考察，土木学会論文報告集，No.394/III-9，pp.37-44，1988
- 7) 藤村 尚・西村 強・木山 英郎：DEMにおける要素定数の検討，材料，39巻，447号，pp.97-103，1990
- 8) 木山 英郎・藤村 尚・西村 強 脇本 公朋：地山支保力と特性曲線の定量的評価法とDEMによる検証，第24回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集，pp.156-160，1992.2
- 9) 木山 英郎・藤村 尚・西村 強：間隙水連成型個別要素法の基本と拡張，土木学会論文報告集，No.499/III-28，pp.31-39，1994

