

# 花粉分析による東京沖積地盤の地質検討

木村 薫 平 間 邦 興  
丸 山 誠 桑 原 徹

## Geological Investigation of Tokyo Alluvium Based on Pollen Analysis

Kaoru Kimura Kunioki Hirama  
Makoto Maruyama Tohru Kuwahara

### Abstract

The present paper describes both pollen analyses and soil tests carried out on core samples 50 meters in depth, and discusses the relationships among pollen zone, geological age, and several soil constants. The investigated area is situated above the buried Tachikawa Terrace Conglomerate in the Tokyo Lowland, and pollen zones of RI to RIIIb were distinguished. Unconfined compressive strength and consolidation yield stress increased to be proportional to the geological age of sediments in the upper part of the Lower Yurakucho Formation, but porosity, overconsolidation ratio, unconsolidated-undrained shear strength were uniform with certain variances in the same horizon. In the lower part of the Lower Yurakucho Formation, unconfined compressive strength, consolidation yield stress, and overconsolidation ratio had larger variances than in the upper horizon.

### 概 要

本報告は、東京低地沖積地盤で深度50mのボーリングコアサンプルについて土質試験と花粉分析を実施し、花粉帯・地質年代・土質定数の関係について検討した。調査地点は埋没立川段丘礫層上にあり、RI~RIIIbの花粉帯が識別できた。一軸圧縮強度・圧密降伏応力は有楽町層下部の上部(RII帯)では堆積年代に比例して大きくなるが、間隙比・過圧密比・非排水せん断強度には堆積年代によるちがいは認められなかった。有楽町層下部の下部(RI帯)では、一軸圧縮強度・圧密降伏応力。過圧密比の分散がきわめて大きい。

### 1. はじめに

堆積した粘土・シルト・砂などが固化して岩石に変化してゆく物理的・化学的過程は、堆積岩岩石学や石油地質学などの地質学では続成作用(Diagenesis)と呼ばれている。続成作用を支配するものは、埋没深度・上載荷重・埋没時間・構造的な地殻応力・地温勾配などである。続成作用の進行を表わすものには、粒子の再配列・強度・孔隙率(間隙率)・各種鉱物の相転換・モンモリロナイトの底面間隔・炭化水素の形成・間隙水の物理化学的性質などがある<sup>1)</sup>。この中で長い地質年代の間での上載荷重による孔隙率の減少作用は狭義の意味で「圧密」(Compaction)と呼ばれている。この「圧密」は、上載荷重により間隙水が排水されることにより土が徐々に圧縮される現象を定義する土質工学的な「圧密」(Consolidation)とはやや異なる。このような続成作用は土質工学

上の各種土質定数にも影響を与えているはずである。

沖積地盤の地質学的調査方法の一つとして花粉分析がある。花粉分析は主に粘性土や泥炭層に多量に含まれている過去の花粉の種類や組成割合を分析し、過去の植生や気候、すなわち寒暖の変化を分析したり、地層の地質年代区分を行なうものである。本報告は、続成作用と土質定数の関係という視点から、特に花粉分析によって得られる沖積地盤の地質年代区分と、併わせて行なった土質試験結果の関係について検討し、沖積地盤の設計定数を決める際の一つの問題点をとりあげた。

花粉分析は東京低地の沖積地盤で深度約50mのボーリングコアについて実施した。花粉分析によると約10,000年前以降の沖積粘性土には、次のような土質工学的特性が認められた。一軸圧縮強度・圧密降伏応力・過圧密比は沖積中部泥層の上部(有楽町層下部の上部)では小さい分散を示し、一軸圧縮強度と圧密降伏応力は堆

積年代や埋没深度に比例して大きくなる。一方沖積中部泥層の下部（有楽町層下部の下部）では、一軸圧縮強度・圧密降伏応力・過圧密比は大きな分散を示し、堆積年代・埋没深度には比例しない。

## 2. ボーリング調査地点の地質

東京沖積低地の地質断面は、概念的に表わすと図一1のようになる。すなわち沖積層は、第四紀の最終氷期（ウィルム氷期）最盛期（18,000～23,000年前）の低海面期に形成された河谷を埋めたてようにして、後氷期の海面上昇に伴って形成された。沖積層は下位から上位へ大きく次の五つに分けることができる<sup>2),3)</sup>。

- (1) 沖積層基底礫層……………礫層
- (2) 沖積下部砂層（七号地層\*）……………砂層・シルト層・泥炭層
- (3) 沖積中部泥層（有楽町層下部\*）……………シルト層
- (4) 沖積上部砂層（有楽町層上部\*）……………砂層・シルト層
- (5) 沖積上部泥層……………シルト層

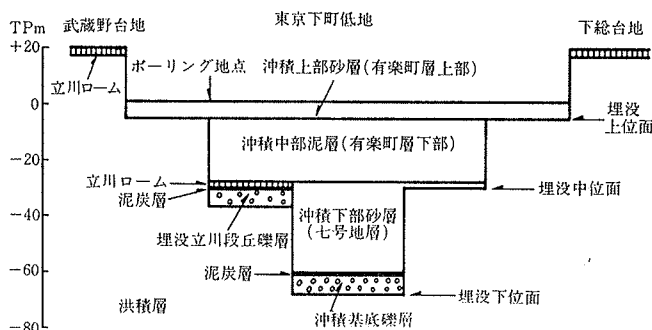
\*：東京沖積低地における固有の地層名  
沖積層の下底面は次の三段の地形面に区分できる<sup>2)</sup>。

- (1) 埋没上位面……………TP 0～-10 m
- (2) 埋没中位面……………TP -20～-30 m
- (3) 埋没下位面……………TP -65 m

埋没中位面と上位面は、最終氷期最盛期の最低位海面に向う過程で形成された洪積世の河川の段丘面と考えられ、厚さ数mの段丘礫層を伴う。埋没下位面は最低位海面時の河川の底面で、沖積基底礫層が堆積している。これらの礫層が沖積層の基底で、沖積地盤の重量構造物の支持層とされている。

今回のボーリング調査地点では、ボーリングコアは次のようにまとめることができる。

- (1) TP 0～-8 m……………砂層とシルト層
- (2) TP -8～-22 m……………貝殻を含むシルト層



図一1 東京沖積低地地質断面の概念図

- (3) TP -22～-31 m……………砂層とシルト層
- (4) TP -31～-37 m……………礫層 礫層の直上には腐植土が分布することが多い。
- (5) TP -37～-47 m……………砂層とシルト層

後述する花粉分析などの検討から、TP -31 m 以浅のシルト・砂層が沖積層である。TP -31～-37 m の礫層は、一般には埋没中位面の埋没立川段丘礫層とされているものである。

## 3. 花粉分析

### 3.1. 分析方法

分析にあたって、試料の前処理は次のように行なった。

- (1) 試料（シルト・シルト質細粒砂岩・腐植土）を30～50 g とり、乳鉢ですりつぶす。
- (2) 試料を遠心管に移し、フッ化水素を加え攪拌後24時間放置……………ケイ酸質の分解。
- (3) 水を加え、2,500 r.p.m. で3分間遠心分離（2回）。
- (4) 沈殿物に10%のカセイカリ溶液を加え、遠心管ごと80℃の湯煎器に入れて20分間加熱……………有機物の溶解。
- (5) 沈殿物に水を加え、遠心分離（2回）。
- (6) 残渣に塩化亜鉛の飽和溶液（比重1.8）を加え、29 kHz の超音波で攪拌後15分間遠心分離。
- (7) 比重選別……………花粉・胞子などの軽いものは上層に浮かび、重いものは下層に沈殿。
- (8) 表層部分を遠心管にとり、5%の塩酸1 cc と水を加えて遠心分離。
- (9) 沈殿物質に氷酢酸を加え脱水し、遠心分離。
- (10) 脱水した試料に無水酢酸9：濃硫酸1の混合液を加え、湯煎器で20分加熱し、遠心分離。
- (11) 残渣に水を加え、遠心分離（2回）。
- (12) 10%のカセイカリ溶液を加え、湯煎器で1分加熱後、遠心分離。
- (13) 残渣に水を加え遠心分離（2回）。
- (14) 残渣をスライドグラスにとり、グリセリンゼリーで封入……………プレパラートの作成。

(15) 花粉・胞子の検鏡……………一試料につき、200個以上の花粉についてその種類を決定し、花粉組成の百分率を計算。

### 3.2. 分析結果

花粉分析は13試料について実施した。分析結果は地質柱状図とともに、代表的な広葉樹と針葉樹の花粉組成百分率として図一2に示した。代表的な花粉は写真一1に示した。

ボーリングコアは花粉組成の特徴からいくつかの区間

に区分できる。この区分された各区間は「花粉帯」と呼ばれる。今回の分析試料は以下のような花粉帯に区分でき、それぞれ塚田の「花粉帯」<sup>4)</sup>のRI, RII, RIIIbに相当するものと考えられる。

(1) 試料 No. 1~3: ゴヨウマツ属・モミ属・ツガ属などの亜高山性針葉樹が多い。シルト質の部分ではこれらが少なくブナ属などの広葉樹が多い。

(2) 試料 No. 4~9: マツ属・モミ属・ツガ属が減少する。コナラ亜属・ブナ属などの冷温帯性広葉樹が増加し、礫層直上の腐植土層中では全花粉中でコナラ亜属が35~60%を占め、ブナ属・イヌシデ属・カバノキ属・サワグルミ属を伴う(RI帯\*\*……塚田の「花粉帯」による)。

(3) 試料 No. 10~13: アカガシ属などの温暖性広葉樹が増加し、一方ではモミ属・ツガ属も増加する(RII帯\*\*)

(4) 試料 No. 14: 人間の干渉による二次林と考えられているマツ属の増加(RIIIb帯\*\*)

花粉組成はNo. 1~3とNo. 4~13で大きく異なる。No. 1~3では寒冷種が多いのに対し、No. 4~13では冷温~温暖種が多く、TP -31~-37mの礫層を境にして植生が全く異なることがわかる。No. 4以降の花粉は明らかに沖積層に含まれるものである。

#### 4. 堆積年代と土質定数

##### 4.1. 花粉帯と土質定数

花粉帯・地質年代・地質柱状図・土質試験結果の関係は、以下のような条件と仮定の下で、図-3のように表わすことができる。

(1) 東京低地では花粉分析の研究は少なく、花粉帯と地質年代の関係は必ずしも十分明らかにされているとは言えないが、これは従来の研究結果<sup>5)</sup>に従う。

(2) 土質試験試料の地質年代は、花粉帯と地層名区分によって細分された区間、たとえばTP -8~-22mを花粉帯などによって得られる地質年代6,000~8,000年前で比例配分して、各深度の地質年代を決めることによって与える。

(3) したがって、細分された各区間では、堆積作用は連続しており、また堆積速度は一定であると仮定される。

土質定数は、間隙率・一軸圧縮強度・圧密降伏応力・

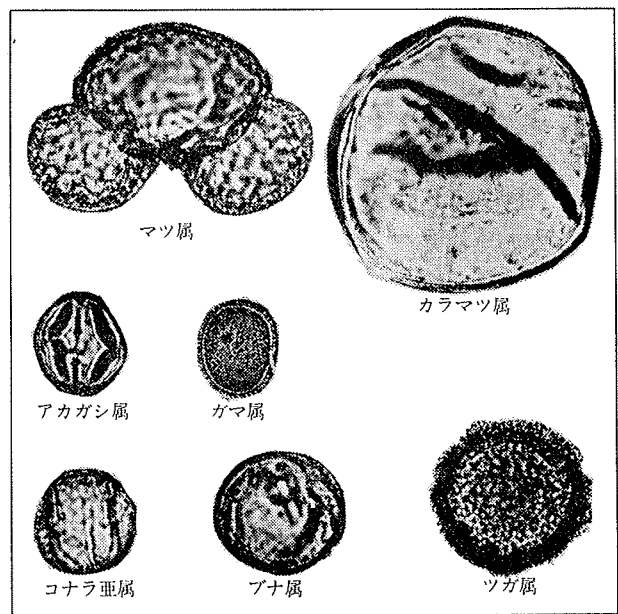


写真-1 代表的な花粉化石

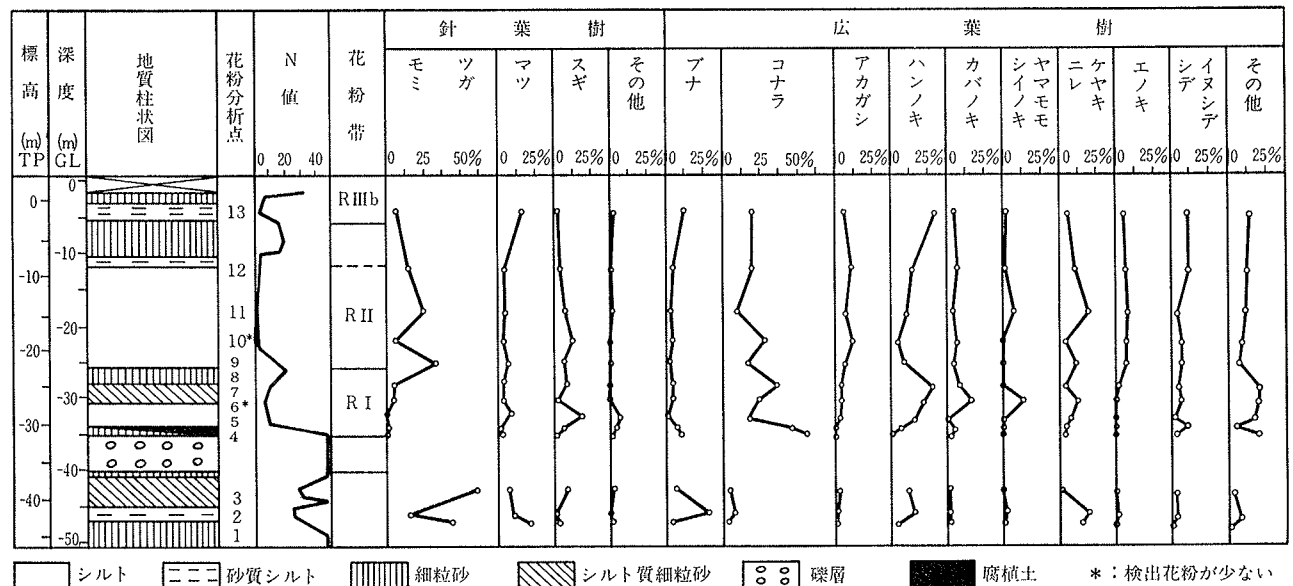
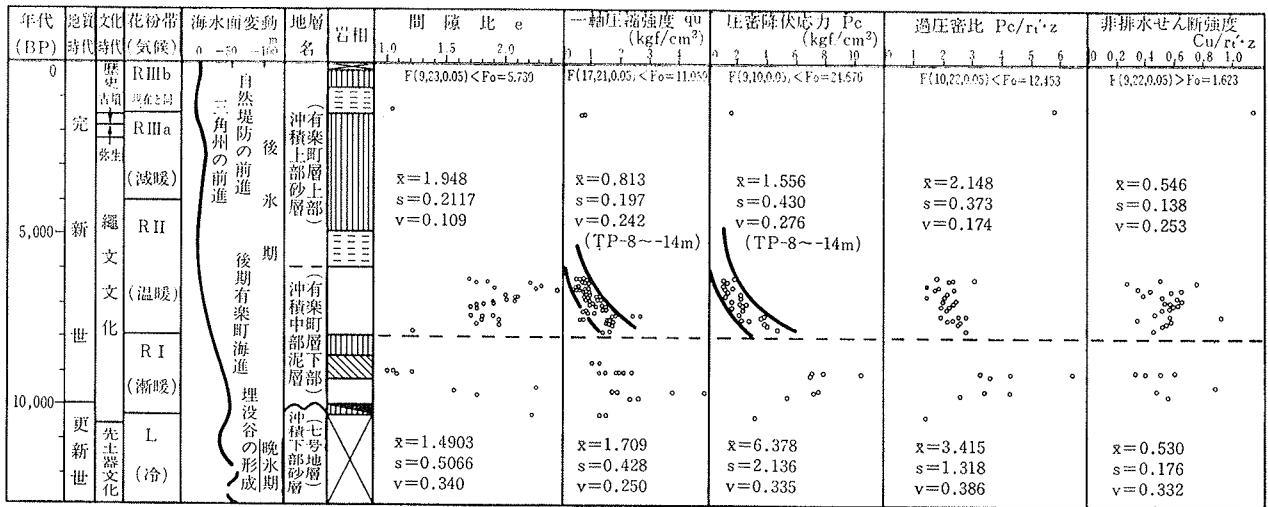


図-2 花粉分析結果



岩相区分は図-2の凡例を参照 x: 標本平均, s: 標本標準偏差, v: 変動係数, F, F<sub>0</sub>: F分布による分散のちがいの検定

図-3 花粉帯・堆積年代と土質定数

過圧密比・非排水せん断強度（ここでは、土被り圧で規格化した  $C_u/r'_v \cdot Z$  を用いる）の五つをとりあげており、以下のような特徴が認められた。対象とした試料は大部分が日本統一土質分類の CH に相当し、一部が OH, MH, ML, CL に属する。

(1) 一軸圧縮強度・圧密降伏応力は、沖積層中部泥層上部（有楽町層下部の上部）の花粉帯 RII では試料の堆積年代に比例して大きくなるが、沖積層中部泥層下部（有楽町層下部の下部）の花粉帯 RI では比例しないでバラツキが大きい。これらの分散のちがいを F 分布を用いて 5% の有意水準で片側検定を行なうと、RI 帯における分散が RII 帯に比べて有意に大きいと言える。なお RI 帯のバラツキは、今回の試料の細粒分含有率とは無関係である。

(2) 間隙比・過圧密比・非排水せん断強度は、RII 帯では正規分布に従うようなバラツキを示すのに対し、RI 帯ではバラツキが大きいようである。F 分布によって分散のちがいを 5% の有意水準で検定すると、間隙比と過圧密比の分散は RI 帯の方で RII 帯よりも有意に大きいといえるのに対し、非排水せん断強度の分散は RII 帯と RI 帯でちがうとは言えない。RI 帯における大きな分散は、間隙比については今回の試料中の細粒分含有率に関係するが、過圧密比・非排水せん断強度については細粒分含有率には依存しない。

4.2. 土質定数の深度分布

地質年代的スケールの圧密では、間隙率や一軸圧縮強度は埋没深度に比例することが多い<sup>6)</sup>。たとえば、新第三紀泥質岩の間隙率-埋没深度の関係は地域によってやや異なるが次式で表わすことができる。

$$n = n_0 \cdot \text{EXP}(-C_0 \cdot Z) \quad \dots\dots\dots(1)$$

n: 間隙率, Z: 深度 (Z=0~5,000 m), n<sub>0</sub>, C<sub>0</sub>: 定数  
新第三紀泥質岩の一軸圧縮強度-間隙率の関係については、室内岩石試験・実験から次式が知られている。

$$n = A \cdot \text{EXP}(-b \cdot q_u) \quad \dots\dots\dots(2)$$

n: 間隙率, q<sub>u</sub>: 一軸圧縮強度, A, b: 定数  
したがって、(1), (2)式より、

$$q_u = -(1/b) \cdot \ln(n_0/A) + (C_0/b) \cdot Z \quad \dots\dots\dots(3)$$

図-4 は今回分析・試験を行なった沖積粘性土の間隙比・一軸圧縮強度・圧密降伏応力の深度分布である。

間隙比はバラツキがあるが、TP-10~-30 m については次式で近似できる。

$$e = -0.06Z + 2.88 \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$\therefore n = 1 + 1/(0.06Z - 3.88) \quad \dots\dots\dots(5)$$

(5)式は(1)式の Z≒0 における直線近似部分と考えられ

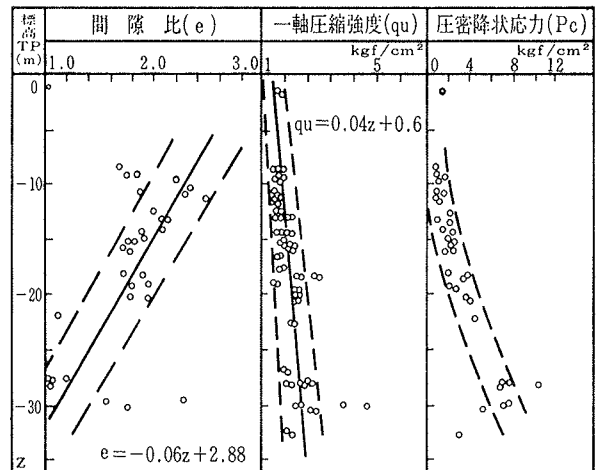


図-4 土質定数の深度分布

る。同様に一軸圧縮強度については次式が成り立つ。

$$q_u = 0.04 \cdot Z + 0.6 \quad \dots\dots\dots(6)$$

(3), (6)式で表わせるような  $q_u \sim Z$  の関係は、沖積粘性土と新第三紀泥質岩の間で図-5のように大きく異なる。沖積粘性土では  $Z$  の係数が  $10^{-2}$  であるのに対し、新第三紀泥質岩では  $10^0 \sim 1$  と大きい。これは、埋没直後の圧密による強度増加の割合は、圧密の全過程の中では相対的に小さいことを示している。

このように間隙率・一軸圧縮強度の深度分布は新第三紀層～沖積層を通じて(1), (3)式のような共通の形で表わすことができる。図-3, 4を比較すると、間隙率は深度のみに比例するのに対し、一軸圧縮強度と圧密降伏応力は堆積年代と深度のいずれにも比例しており、堆積年代と深度の両者の影響が考えられる。

### 5. 花粉分析による古環境と土質性状

土質定数と堆積年代の関係については、第四紀～新第三紀粘土層の自然含水比と粘土含有率の関係<sup>7)</sup>や、一軸圧縮強度・間隙比の各堆積年代依存性<sup>8)</sup>が報告されている。また第四紀～新第三紀の粘性土や砂質土については、一軸圧縮強度や乾燥単位体積重量は深度(すなわち応力履歴や堆積年代)よりも粘土分含有率といった組成に支配されるのに対し、圧密降伏応力は深度に、こう結強さは時間にそれぞれ支配されるという報告もある<sup>9)</sup>。一方沖積・洪積粘土については、非圧密非排水強度を除く多くの土質定数は正規分布にしたがい、特に深度・堆積年代の影響を認めていない報告もある<sup>10)</sup>。

地質学的な続成作用は埋没深度により、初期圧密段階・後期圧密段階・再結晶段階の三段階に分けられる。これによると一般の第四紀層は初期圧密段階にあり、間隙率の減少と粒子の機械的再配列が主要なものである。

このように地質学的あるいは土質工学的な圧密現象は、沖積粘性土中では堆積年代による影響をあまり受けていないという報告が多い。今回実施した花粉分析によると、一軸圧縮強度と圧密降伏応力には堆積年代と深度によるちがいが認められるが、堆積時から現在に至る過程を考えると、いずれが支配的であるか明らかでない。花粉分析の結果、最も顕著な点は、沖積中部泥層下部(花粉帯RI)における一軸圧縮強度・圧密降伏応力・過圧密比の大きな分散である。深度に比例すべき過圧密比も分散が大きい。

沖積上部砂層は三角州の前置斜面、沖積中部泥層上部のシルト層は三角州の底置層と考えられている(図-6)<sup>2)</sup>。一方沖積中部泥層下部に相当する部分はシルト層と砂層からなり、堆積状況は明らかでないが、花粉分析

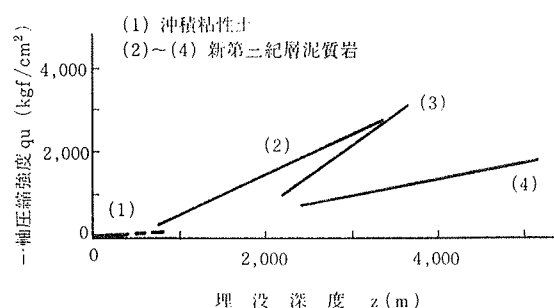


図-5 一軸圧縮強度の深度分布

の No. 4~7 では水生植物であるガマ属の花粉が多数認められ、ここが淡水域の沼や池などの湿地かそれに近い堆積環境であったと推定できる。圧密現象はしばしば粘土鉱物の性質に左右され、粘土鉱物はそれが置かれている化学的環境に支配されることがある。したがって沖積粘性土にみられる土質定数の分散のちがいは、堆積時の淡水・汽水・海水といった化学的環境や堆積環境のちがいに起因するかもしれない。沖積粘性土の設計定数を決めるにあたって、その地盤が置かれた化学的環境や堆積環境についても検討が必要な場合があると考えられる。

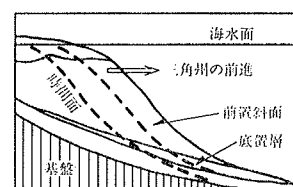


図-6 三角州の概念図

### 参考文献

- 1) 青柳宏一: 海成泥質堆積物の続成作用, 地質学論集, No. 15, (1978), pp. 3~14
- 2) 井関弘太郎: 沖積平野, 東京大学出版会, (昭和58.5)
- 3) 遠藤邦彦, 他: 関東平野の沖積層, アーバンクボタ, No. 21, (1983), pp. 26~43
- 4) 塚田松雄: 古生態学II, 共立出版, (昭和49.6)
- 5) 日本第四紀学会: 日本第四紀研究, 東京大学出版会, (昭和52.1)
- 6) 星野一男: 圧密の進行と機構について, 地質学論集, No. 15, (1978), pp. 15~34
- 7) 桑原 徹: 沖積層の土質工学的性質とその意義, 第四紀研究, Vol. 5, (1966), pp. 121~138
- 8) 応用地質学研究会: 応用地質学, 国際科学振興財団, (昭和56.3)
- 9) 陶野都雄: 堆積物の年代と土質力学的性質, 土と基礎, Vol. 28, (1980), No. 7, pp. 21~28
- 10) 松尾 稔: 地盤工学, 技報堂, (昭和59.3)