

## RI 密度検層による超軟弱浚渫粘土地盤の沈降堆積・圧密特性の評価

梅崎健夫<sup>1</sup>, 河村 隆<sup>1</sup>, 吉村 貢<sup>2</sup><sup>1</sup>信州大学工学部, <sup>2</sup>ソイルアンドロックエンジニアリング(株)

Evaluation of consolidation and sedimentation of very soft dredged clayey ground with high water content by RI-density log

T. Umezaki<sup>1</sup>, T. Kawamura<sup>1</sup> & M. Yoshimura<sup>2</sup><sup>1</sup>Faculty of Engineering, Shinshu University & <sup>2</sup>Soil and Rock Engineering Co., Ltd.

キーワード: 軟弱地盤, 浚渫土, 沈降, 圧密, ラジオアイソトープ(RI), 地盤調査, 密度検層

Keywords: Soft ground, Dredged soil, Sedimentation, Consolidation, Radio isotope, Ground investigation, Density log

## 1. はじめに

航路・泊地整備等などによって生じる浚渫粘土などの高含水比の発生土は年々増加する傾向にあり, その処理・処分問題の解決が極めて重要な課題となっている<sup>1)</sup>。また, 内陸部用地の減少から貴重な海面の高度利用が必要不可欠となり, 各地で人工島の築造が要請されているが, 一方で, 環境問題の顕在化により環境に配慮しない埋立計画は受け入れられない傾向にある<sup>2)</sup>。浚渫土を近接の埋立地の埋立材に利用することは, 環境に配慮した経済的かつ合理的な方法であると考えられる。

埋立地に投入される高含水比の浚渫粘土は泥水状態から時間経過に伴い沈降堆積・自重圧密過程を経て体積が減少する。浚渫埋立地盤における実務設計や施工管理においては, 高含水比で超軟弱な自重圧密過程とその後の覆土による荷重圧密過程の両方の過程における地盤の挙動を的確に予測することが必要である。そのためには, 沈降堆積・自重圧密過程および荷重圧密過程におけるそれぞれの特性を連続して評価することが重要であると考ええる。

著者らは<sup>3)~7)</sup>, ラジオアイソトープ (RI) から放出される $\gamma$ 線を利用することにより地盤の密度検層が可能なRIコーン<sup>8)</sup>を用いた軟弱地盤の調査を実施している。その結果, 沖積・洪積粘土地盤や浚渫埋立地盤において地盤内の密度や含水比の分布を精度良く測定できることを報告している。そこで, RI密度検層を用いて密度や含水比の分布を十分な精度で計測すれば, 複雑な有効応力履歴や年代効果の影響の少ない超軟弱な浚渫埋立地盤において, 測定結果に基づいて圧密特性を原位置において求めることができる。と考える。

本文では, RI 密度検層による超軟弱な浚渫埋立地盤における新たな圧密沈下予測手法を提案する。そして, 沈

降堆積・自重圧密過程における挙動を解明し, 提案法の妥当性を検証するための一環として, 沈降堆積・自重圧密試験およびそれに引き続く定ひずみ速度載荷試験においてRI密度検層を実施し, その結果について論じる。試験の結果に基づいて, 測定された密度の精度について検討するとともに, 沈降堆積・自重圧密過程の挙動について考察する。さらに, 提案法における $\log f(\text{or } f) \sim \log \alpha_v'$  関係の適合性について詳しく考察する。

## 2. RI 密度検層による圧密沈下予測手法の提案

2.1  $\log f(\text{or } f) \sim \log \alpha_v'$  関係の評価手法と最終沈下量の予測手法

図-1 に, 浚渫埋立地盤の圧密特性を評価するための, RI密度検層と地盤内の間隙水圧測定による原位置調査の概略を示す。RIの密封線源は低レベルであり, その取扱において放射線防止法等の法的規制を受けない。梅崎ら<sup>9)</sup>は, 自重圧密過程の浚渫埋立地盤においてRIコーン貫入試験を実施し, コーンの先端抵抗 $q_c$ がほとんどゼロであり, コーンとロッドはその自重のみで自沈することを報告している。このことから, 超軟弱な浚渫埋立地盤においては, 図-1 に示すように, RIセンサーをワイヤー等で吊るし, 一定の速度で自沈させるだけの簡単な方法で密度検層を実施する装置が考案された。RI密度検層では湿潤単位体積重量 $\gamma$ が算定される。その結果から, 土粒子密度 $\rho_s$ と飽和度 $S_r=100\%$ を仮定することにより, 体積比 $(=e+1, e: \text{間隙比})$ が深度方向に連続的に算定される。さらに,  $\gamma$ を深度 $z$ 方向に積分することにより鉛直全応力(土被り圧)  $\alpha_v'$ も算定される。一方, 梅崎ら<sup>9)</sup>は, RIコーンの貫入を途中で停止して貫入に伴う過剰間隙水圧の消散試験を実施し, 貫入停止後の過剰間隙水圧の消散には24時間以上の長時間を有することを報告している。こ

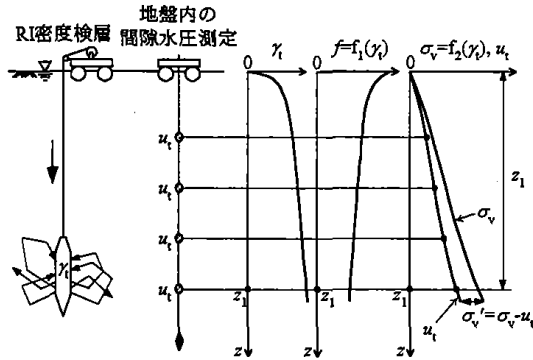


図-1 RI 密度検層と地盤内の間隙水圧測定による原位置調査

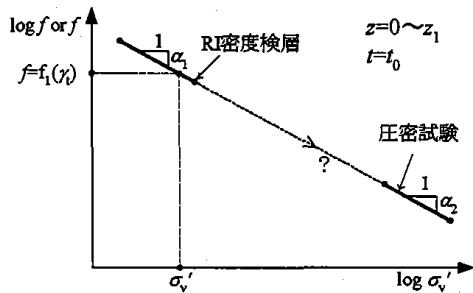


図-2  $\log f(\text{or } f) \sim \log \alpha_v'$  関係の模式図

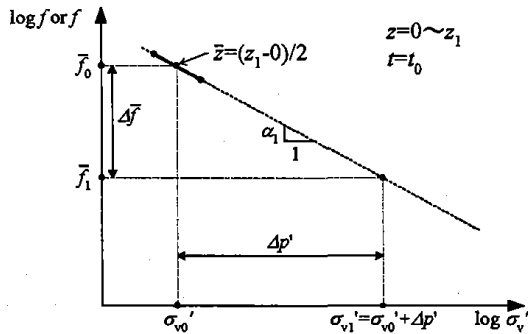


図-3 最終沈下量の推定

のことから、その時点における地盤内の間隙水圧 $u$ の分布を測定するためには、図-1に示すように、先端におもりを付設したワイヤー等に複数の間隙水圧計を設置し、これを自沈させることで事前に地盤内に設置する方法が合理的であると考えられる。したがって、 $z=0 \sim z_1$ の均一層における同じ深度の $f$ と有効鉛直応力(有効土被り圧) $\alpha_v' (= \alpha_v - u)$ を関連づけることにより、図-2に示すように、 $\log f(\text{or } f) \sim \log \alpha_v'$ 関係を求めることができる。この関係を外挿した線により、別途実施した圧密試験の結果が予測できれば、その後の自重圧密過程や載荷圧密過程の圧密特性を評価することができる。浚渫埋立地盤は複雑な有効応力履歴や年代効果の影響が少ないため、これらの関係が成立すると考えられる。また、埋立地盤は常に正規圧密地盤(未圧密地盤であっても現在の有効応力

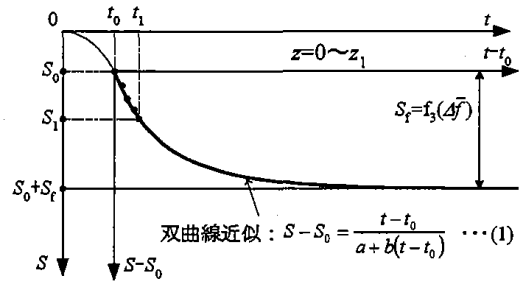


図-4 沈下曲線の経時変化

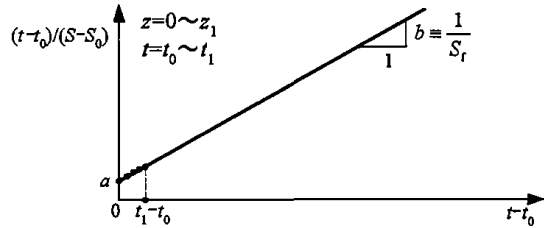


図-5 双曲線パラメータの決定

が過去に受けた最大の有効応力である。)であるので、 $\log f(\text{or } f) \sim \log \alpha_v'$ 関係の外挿線は変化しないと考えられる。

図-3に $\log f(\text{or } f) \sim \log \alpha_v'$ 関係を用いた最終沈下量 $S_f$ の予測手法を示す。まず、任意の時間 $t_0$ における浚渫埋立地盤において実施した原位置調査(図-1参照)により図-3に示す $\log f(\text{or } f) \sim \log \alpha_v'$ 関係を求める。 $z=0 \sim z_1$ の均一層における $f$ と $\alpha_v'$ の代表値として、たとえば、その層の中心 $\bar{z} = (z_1 - 0)/2$ における $\bar{f}_0$ と $\alpha_{v0}'$ を求める。次に、その後の自重圧密過程から覆土による載荷圧密過程までの有効圧密圧力の増分 $\Delta p'$ を考慮して、圧密終了時の $\alpha_{v1}' = \alpha_{v0}' + \Delta p'$ を算定し、図-3に示すように、その時の $f$ の変化量 $\Delta \bar{f} = \bar{f}_0 - \bar{f}_1$ を求める。ここで、 $\bar{f}_1$ : 圧密終了時の体積比である。したがって、求める $S_f$ は $S_f = z_1 (\Delta \bar{f} / \bar{f}_0)$ として算定される。このようにして、RI密度検層を用いた原位置調査から得られた $\log f(\text{or } f) \sim \log \alpha_v'$ 関係を用いて $S_f$ を予測することができる。

## 2.2 圧密沈下曲線の予測手法

図-3において予測した $S_f$ と自重圧密過程の初期段階における $t_0 \sim t_1$ までの沈下量 $S$ の経時変化を用いて、その後の圧密沈下曲線を予測する手法を提案する。図-4に示すように $t_0 \sim t_1$ の間において $z=0 \sim z_1$ の均一層における $S$ を計測する。 $t_0, S=S_0$ を原点とした座標軸を新たに設定し、 $t_0 \sim S-S_0$ 関係に双曲線近似が適用できると仮定すると、その後の圧密沈下曲線は図中の式(1)で表わされる。ここで、 $a, b$ は実験定数であり、図-5に示す $(t-t_0)/(S-S_0) \sim (t-t_0)$ 関係における測定値に対して最小二乗法によってフィッティングした直線の切片および傾きで与えられる。本提案法では、 $S_f$ の予測値が別途求められているので、傾き $b \equiv 1/S_f$ が予め決定されている。そこで、図-5にプロットさ

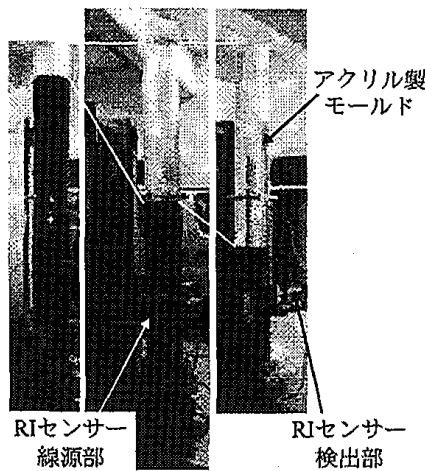


写真-1 沈降堆積・自重圧密試験( $h_0=183.8\text{cm}$ )

れた実測値に傾き $b \equiv 1/S_r$ の直線をフィッティングすることにより $a$ を決定する。したがって、本手法では圧密係数 $c_v$ などの実験定数を室内試験等により別途求める必要がなく、原位置の測定値だけで圧密沈下量のみならず圧密沈下曲線を予測するものである。

今西ら<sup>9)</sup>の報告によれば、浚渫土による埋立地盤では埋立方法により深度方向および平面方向の地盤特性が異なり、浚渫埋立地盤は不均一な互層であることが多い。そのような場合は、均一な層毎に図-3や4における実測値の関係を求めることが必要であり、各層毎の圧密沈下曲線を重ね合わせることで地盤全体の圧密沈下曲線を推定することが可能である。ただし、層毎の沈下量を精度良く測定する手法については今後の課題である。その1つの方法として、 $t=t_1$ において同一地点でRI密度検層を実施し、 $t=t_0$ におけるRI密度検層の結果と比較して密度変化の比較から層毎の沈下量を求める方法<sup>7)</sup>も検討されている。

超軟弱な浚渫埋立地盤では、ボーリングマシンの設置や試料のサンプリングが困難であり、圧密定数を深度方向や平面方向の広範囲に精度良く求めることはほとんど行われていない。一方、本手法は比較的短時間に広範囲に現地調査を実施することができるので、深度方向や平面方向に地盤の特性が異なる浚渫埋立地盤においては、経済的で合理的な手法であると考えられる。

### 3. RI 密度検層の概要

#### 3.1 沈降堆積・自重圧密試験による試料の分級

写真-1に沈降堆積・自重圧密試験の概要を示す。試料には山口県宇部市宇部港から採取した浚渫土(土粒子密度 $\rho_s=2.662\text{g/cm}^3$ 、液性限界 $w_L=66.3\%$ 、塑性指数 $I_p=33.9$ )を用いた。2mmふるいを通過させ、海水( $\rho_w=1.025\text{g/cm}^3$ )を加えて初期含水比 $w_0=800\%$ ( $\div 12.1w_L$ )とし十分に攪拌

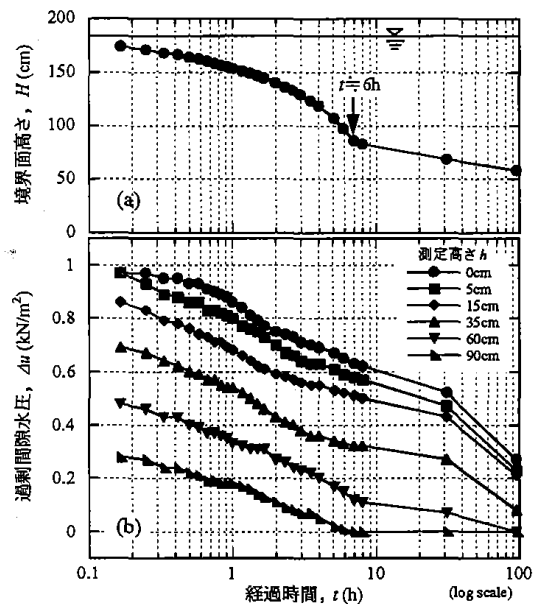


図-6 沈降堆積・自重圧密試験の結果 ( $h_0=183.8\text{cm}$ )

した泥水状態の試料を高さ200cm、内径20cmのアクリル製モールド内に数度に分けて投入し、沈降堆積・自重圧密試験を行った。初期試料高さは $h_0=183.8\text{cm}$ とした。試験中は、清澄水底面の境界面高さ $H$ および試料底面から高さ $h=0, 5, 15, 35, 60, 90\text{cm}$ においてスタンドパイプを用いて過剰間隙水圧 $\Delta u$ の経時変化を測定した。

図-6(a)および(b)に、それぞれ沈降堆積・自重圧密過程における $H$ および $\Delta u$ の経時変化を示す。図-6(a)に示すように、 $H$ の経時変化は $t=6\text{h}$ で曲線が屈曲しており、この時点を経境に沈降堆積過程から自重圧密過程に推移したものと考えられる。自重圧密過程において、 $H$ は時間の対数に対しほぼ直線的に減少する。図-6(b)に示すように、試験開始直後の $\Delta u$ は $\Delta u=0.28 \sim 1.0\text{kN/m}^2$ と小さい。 $\Delta u$ は時間経過とともに減少する。 $t=95.6\text{h}$ 後には $H=58.3\text{cm}$ であり、 $h=60, 90\text{cm}$ では静水圧となるため、 $\Delta u$ はゼロである。しかし、このときにおいても $h < 58.3\text{cm}$ の堆積土中においては $\Delta u$ が完全には消散せず若干残っており、自重圧密終了には長時間を要することが伺える。

$H < 60\text{cm}$ 以下で境界面の沈下速度が $1\text{mm/d}$ 以下となった後に、清澄水を排水して試料を上・中・下部層の3層に分けて汲み出した。それぞれの層の粒度分布および物理試験の結果を図-7および表-1に示す。 $h_0=183.8\text{cm}$ の沈降堆積においても分級が生じているため、深度ごとに特性が異なっている。実際の浚渫埋立地盤においても同時に投入した浚渫土が分級して堆積し深度方向に地盤特性が大きく異なる。本文では上・中・下部層の3種類の異なる試料を用いて以下に述べるRI密度検層を実施した。

#### 3.2 沈降堆積・自重圧密試験におけるRI密度検層の概要

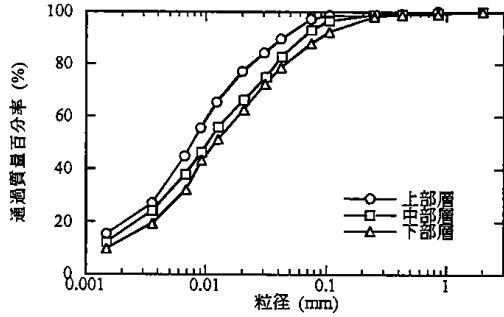


図-7 分級した試料の粒度分布

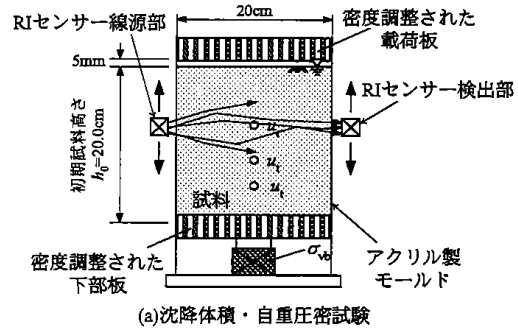
表-1 分級した試料の物性と試験の初期条件

	上部層	中部層	下部層
土粒子密度, $\rho_s$ (kN/m <sup>3</sup> )	2.714	2.708	2.667
液性限界, $w_L$ (%)	95.5	83.9	75.9
塑性指数, $I_p$	56.5	48.7	45.7
初期含水比, $w_0$ (%)	1101.3	1006.5	740.7

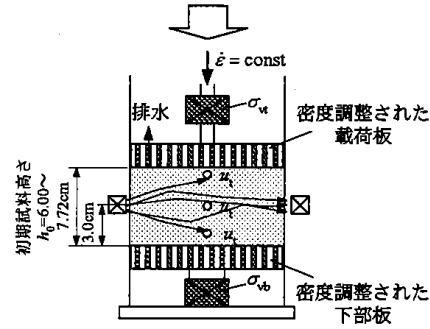
上・中・下部層それぞれの試料を図-8(a)に示すように直径20cmの亚克力製モールド内に投入し、沈降堆積・自重圧密試験を実施した。初期試料高さはいずれも $h_0=20\text{cm}$ とし、 $w_0$ は表-1に示すとおりである。写真-2に示すように、モールドを挟むように配置した線源部と検出部からなる透過型RIセンサーにより、所定の時間に1mm/sの速度で下方向走査により密度分布を測定した。そして、次の走査測定まで間に、RIセンサーを $h=3\text{cm}$ の位置に固定して密度変化を測定した。また、間隙水圧を $h=0, 1, 2, 4, 6, 12, 18\text{cm}$ においてスタンドパイプを用いて測定した。なお、供試体の上部および底部における密度分布を精度良く測定するために、図-8(a)に示すように、亚克力板に小孔を開けアルミ棒を挿入して密度を試料の密度と同程度となるように調整した載荷板と下部板を用いている。なお、載荷板は、試料上面から5mm隙間を空けて設置し、試料上面を大気解放している。

### 3.3 定ひずみ速度載荷試験におけるRI密度検層の概要

図-6(b)で考察したように、高含水比の浚渫土の沈降堆積・自重圧密試験は自重圧密終了までに長時間を要する。そこで、圧密沈下による密度増加を促進するために、沈降堆積・自重圧密試験に引き続き、図-8(b)に示す定ひずみ速度載荷試験を実施した。沈降堆積・自重圧密試験において境界面高さが7cm程度まで沈下した後、清澄水を除去して載荷板を試料上面に密着させ上部片面排水とした。載荷前においては上・中・下部層の初期高さはそれぞれ $h_0=6.00, 6.61, 7.72\text{cm}$ であり、載荷速度は $0.034\text{mm/min}$  (ひずみ速度 $\dot{\epsilon}=0.044\sim 0.056\%/min$ )とした。定ひずみ速度載荷試験中は試料の上下に設置された2つのロードセル( $\alpha_u, \alpha_b$ )により鉛直荷重を測定し、 $h=0, 2, 4, 6\text{cm}$ および載荷面の位置において $u$ も測定した。さらに、上・中



(a)沈降体積・自重圧密試験



(b)定ひずみ速度載荷試験

図-8 RIセンサーを用いた室内試験

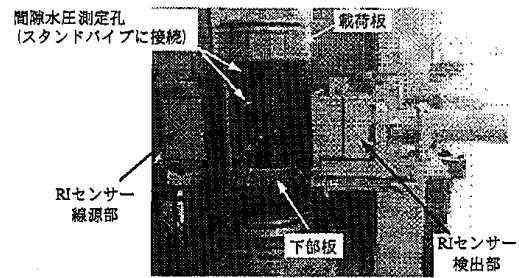


写真-2 沈降堆積・自重圧密試験におけるRI密度検層

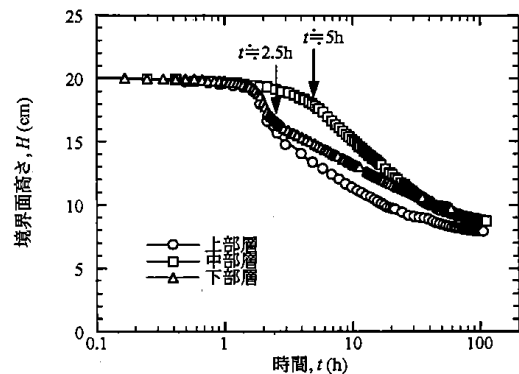


図-9 沈降堆積・自重圧密試験の結果 ( $h_0=20\text{cm}$ )

部層では $h=2\text{cm}$ 、下部層では $h=3\text{cm}$ の位置にRIセンサーを固定して密度変化も測定した。

## 4. 試験結果および考察

### 4.1 沈降堆積・自重圧密試験におけるRI密度検層

図-9に沈降堆積・自重圧密過程における $H$ の経時変化を示す。上・下部層の $H$ の経時変化は $t=2.5\text{h}$ で、また中

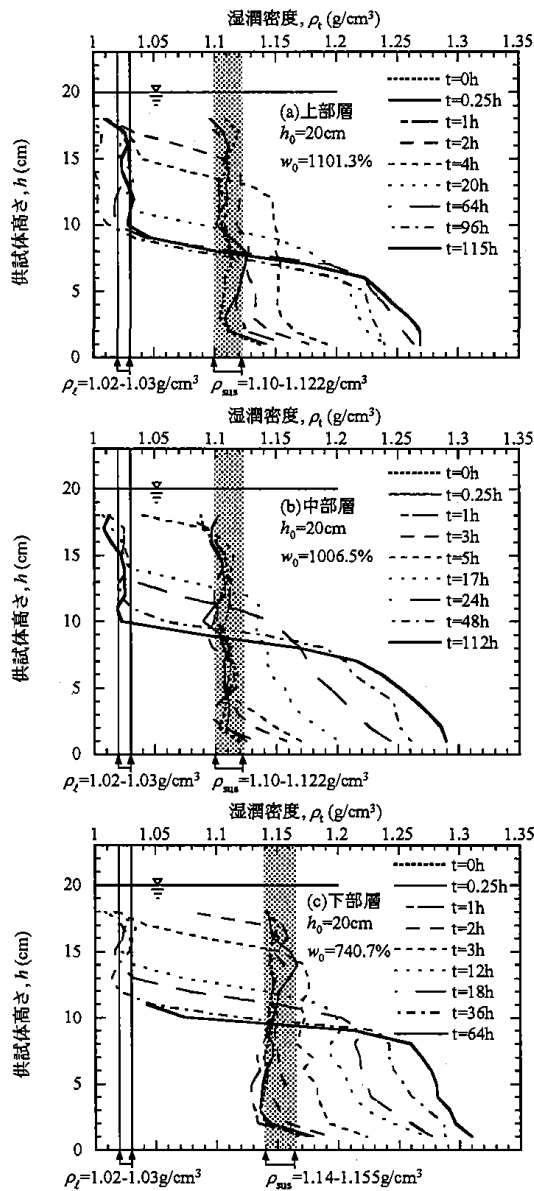


図-10 沈降堆積・自重圧密試験におけるRI密度検層の結果

部層では  $t=5$ h で曲線が屈曲しており、それぞれこれらの時点を経て沈降堆積過程から自重圧密過程に移したものと考えられる。自重圧密過程において  $H$  は時間の対数に対しほぼ直線的に減少する。

図-10(a)~(c)にRI密度検層によって得られた試料高さ  $h$  方向の湿潤密度  $\rho$  の分布の経時変化を示す。ここで  $\rho_c$  および  $\rho_s$  はそれぞれ清澄水(海水) および懸濁液の密度であり、データのばらつきおよび密度分布の形状から判断して図中のように決定した。上・中・下部層のいずれにおいても以下のような同様の挙動を示している。 $t=0$  では全体が懸濁液であり、高さ方向にほぼ一様な密度分布である。次に、時間経過とともに上部は懸濁液から清澄水に

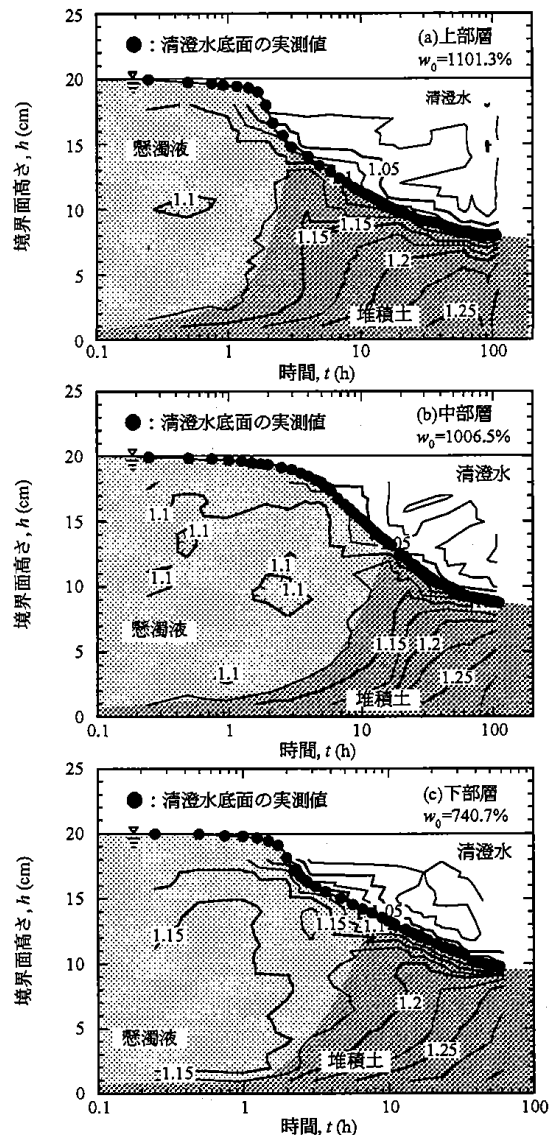


図-11 等密度線と界面沈降曲線

変化するため密度が減少し、底部から堆積が始まり密度が増加する。さらに時間が経過した  $t=64 \sim 112$ h では、 $h=10$ cm 付近において  $\rho$  が急増する分布形状となる。このときには懸濁液はほとんど存在せず、清澄水の直下に堆積土が分布している。梅崎らは、ロームと豊浦砂を水道水で調整した試料<sup>9)</sup>と博多港浚渫土と海水を調整した試料<sup>10)</sup>に対して同様の結果を報告をしている。

図-11に測定したすべての  $\rho$  の分布から求めた等密度線<sup>11)</sup>と界面沈降曲線<sup>11), 12)</sup>を示す。試料ごとに算定した  $\rho_c$  と  $\rho_s$  をしきい値として等密度線を描くことにより清澄水、懸濁液および堆積土を明瞭に区分することができる。すべての試験において実測した清澄水の底面高さは、この区分と良く一致している。以上のことより、RI密度検層は高い測定精度を有している。また、梅崎ら<sup>9)</sup>も同様の報告をしている。

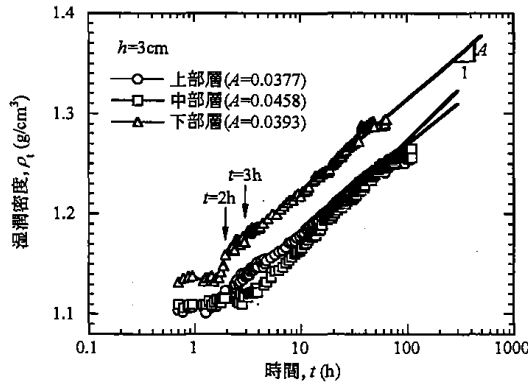


図-12  $h=3.0\text{cm}$ における湿潤密度の経時変化

図-12 に $h=3\text{cm}$ の位置における $\rho$ の経時変化を示す。 $t \approx 2 \sim 3\text{h}$ 以降において自重圧密が進行し、 $\rho \sim \log t$ 関係が直線的に増加している。自重圧密に移行する時間は図-9の結果とほぼ等しい。

#### 4.2 定ひずみ速度載荷試験におけるRI密度検層

図-13(a)~(f)は定ひずみ速度載荷試験の結果である。図-13(c), (d)に示す間隙水圧 $u$ 、鉛直全応力 $\alpha$ および鉛直有効応力 $\alpha'$ の経時変化は上部層についてのみ示した。他のケースについても同様の傾向が確認されている。図-13(b)に示す $\alpha$ は、試料の上部および下部に設置したロードセルで計測した値を示している。 $\alpha$ はいずれの場合においても $t=15\text{h}$ 付近から急激に増加している。図-13(c)に示す $u$ は、排水面である載荷面と $h=4, 6\text{cm}$ において試験中ほぼゼロである。一方、 $h=0, 2\text{cm}$ においては載荷開始と同時に $u$ が徐々に増加し、特に $h=0\text{cm}$ では $t=15\text{h}$ 付近から急激に増加する。図-13(b), (c)に示した結果に基づいて、図-13(b)に示すように、上部層においては $h=2\text{cm}$ における $\alpha$ および $\alpha'$ を算定した。 $\alpha$ は下部ロードセルの測定値から算定し、 $\alpha'$ は $\alpha$ と $h=2\text{cm}$ における $u$ の差として算定した。 $\alpha'$ も $t=15\text{h}$ 付近から急激に増加する。図-13(e)は、RI密度検層から得られた湿潤密度 $\rho$ の経時変化である。時間が経過して圧密が進行するとともに $\rho$ が増加する。この $\rho$ から図-13(f)に示す $f$ の変化を求めることができる。

図-14(a)~(c)に沈降堆積・自重圧密試験と定ひずみ速度載荷試験から得られた $\log f \sim \log \alpha'$ 関係を示す。沈降堆積・自重圧密試験の $f$ は、 $h=3\text{cm}$ において実施したRI密度検層から得られた $\rho$ (図-12 参照)から算定した値である。そのときの $\alpha'$ は、同一の時刻における $h>3\text{cm}$ の $\rho$ 分布(図-10(a)~(c)参照)を積分して算定した $\alpha$ から、その時の $h=2, 4\text{cm}$ で測定した $u$ の平均値を差引いた値である。一方、定ひずみ速度載荷試験の場合には、上部層においては、図-13(f)に示した $f$ と図-13(d)に示した $\alpha'$ を同一時刻において対応させて求めている。なお、中・下層部においても同様に算定した。図中にはそれぞれの試料に対して別途実

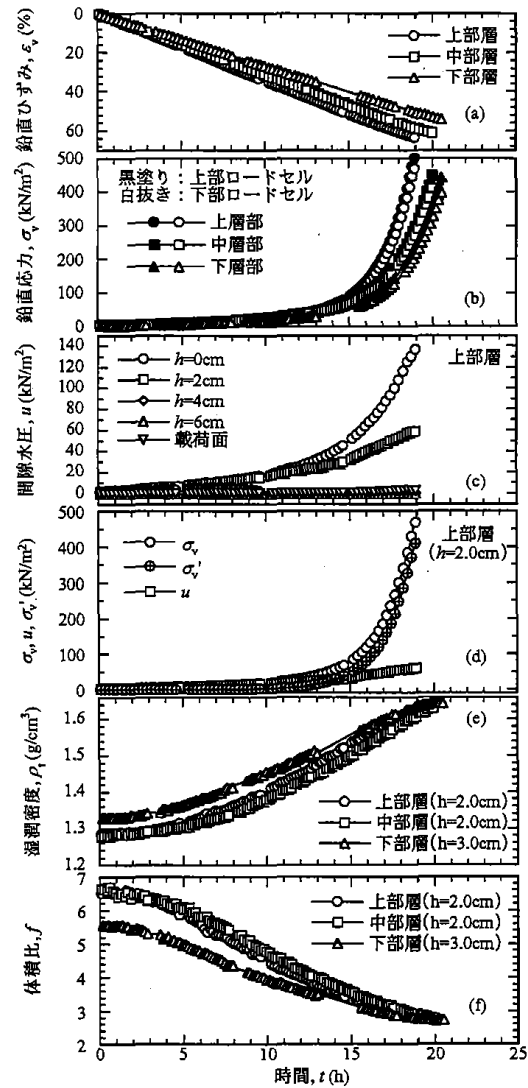


図-13 定ひずみ速度載荷試験の結果

施した段階載荷による圧密試験(JIS A 1217)の結果(実線)とともに、その正規圧密部分の測定値を外挿した線(破線)も併せて示している。上・中・下部層のいずれにおいても同様の傾向を示している。沈降堆積・自重圧密過程から載荷圧密過程までの $\log f \sim \log \alpha'$ 関係は、 $f=4.6 \sim 5.2$  ( $w/w_L=1.2 \sim 1.9$ )以下の範囲において、それぞれ1本の直線で近似できる。それらの直線は、それぞれ段階載荷による圧密試験の正規圧密部分と概ね重なっている。特に、中・下部層においては、それぞれの直線の傾きである $\alpha_1$ と $\alpha_2$ はたいへん近い値である。

図-15(a)~(c)は図-14(a)~(c)の関係を片対数表示したものである。上・中・下部層のいずれにおいても同様の傾向を示している。沈降堆積・自重圧密過程から載荷圧密過程までの $f \sim \log \alpha'$ 関係は、 $f=4.4 \sim 5.2$  ( $w/w_L=1.3 \sim 2.2$ )以下の範囲において、それぞれ1本の直線で近似できる。それらの直線は、それぞれ段階載荷による圧密試験の正

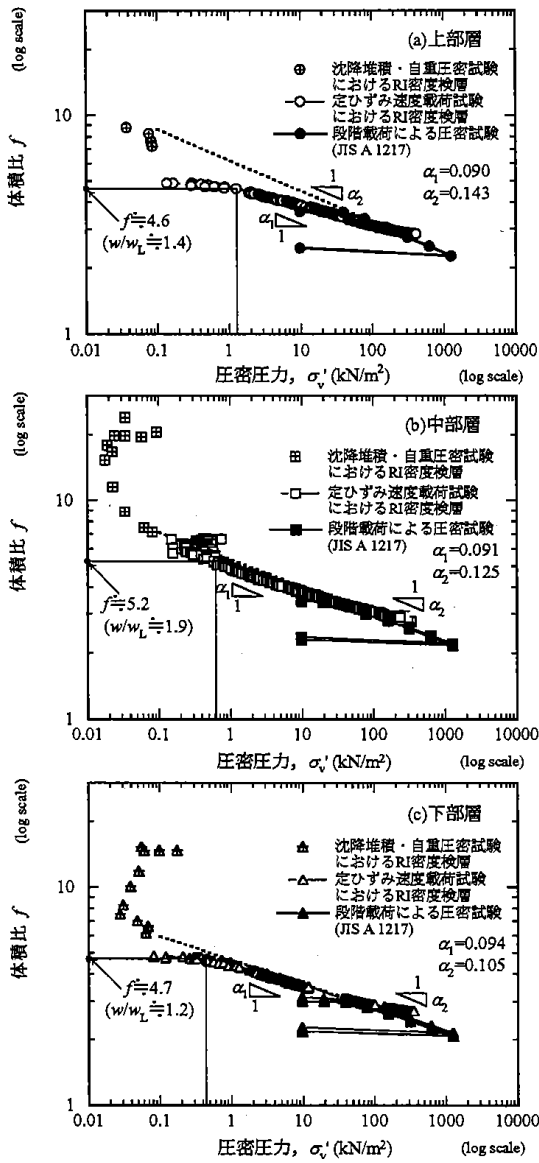


図-14  $\log f \sim \log \alpha'$  関係

規圧密部分と概ね重なっている。それぞれの直線の傾きである $\beta_1$ と $\beta_2$ は、いずれの場合もたいへん近い値である。

図-16 および 17 に  $\log w/w_L \sim \log \alpha'$  関係と  $w/w_L \sim \log \alpha'$  関係をそれぞれ示す。本文で用いた 3 種類の試料は同一の試料を分級して作製した試料である。それぞれの液性限界 $w_L$ を用いて正規化した  $\log w/w_L \sim \log \alpha'$  関係と  $w/w_L \sim \log \alpha'$  関係は両者とも  $w/w_L < 1.3$  において概ね 1 本の直線関係として統一的に評価することができる。また、それぞれの直線は段階載荷による圧密試験の正規圧密部分にほぼ重なっている。

### 5. まとめ

RI密度検層による超軟弱な浚渫埋立地盤における圧密沈下予測手法を新たに提案した。提案法では、RI密度検

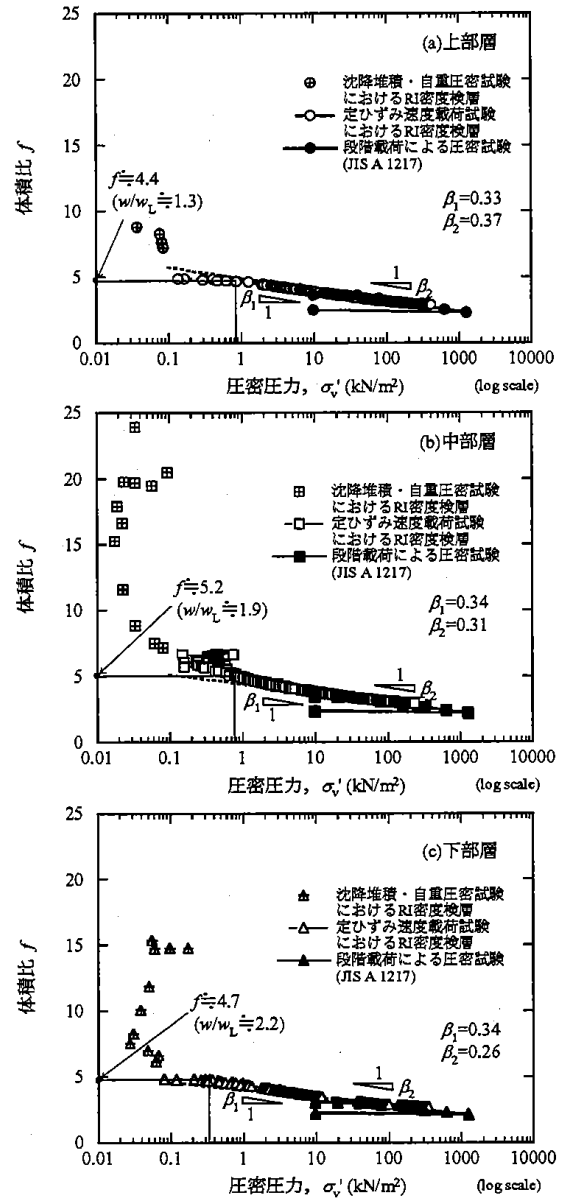


図-15  $f \sim \log \alpha'$  関係

層および地盤内の間隙水圧の測定を実施し、圧密過程における体積比と鉛直有効応力 $\alpha'$ を算定して  $\log f$  (or  $f$ )  $\sim \log \alpha'$  の直線関係を求める。また、別途、圧密初期段階における圧密沈下量を測定する。そして、原位置で得られるこれらの結果だけを用いて、圧密終了までの圧密沈下量のみならず圧密沈下曲線が予測される。沈降堆積・自重圧密過程における挙動を解明し、提案法の妥当性を検証するための一環として、沈降堆積・自重圧密試験および定ひずみ速度載荷試験においてRI密度検層を実施した。試験には原位置の状態を考慮して実際の浚渫粘土を沈降堆積させて分級した 3 種類の試料を用いた。得られた主な知見は以下のとおりである。

1) 沈降堆積・自重圧密試験における試料の状態は、試料

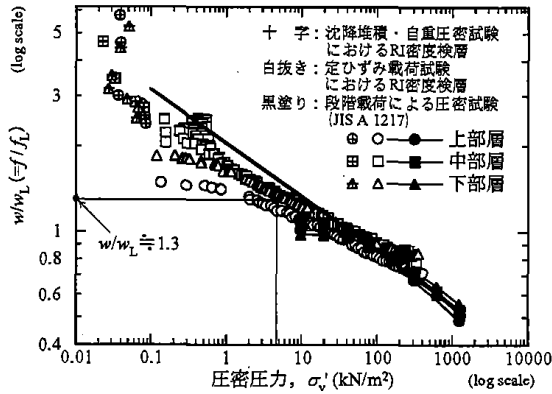


図-16  $\log w/w_L \sim \log \alpha'_v$  関係

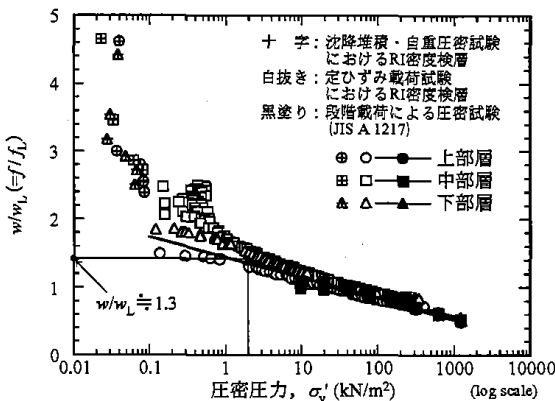


図-17  $w/w_L \sim \log \alpha'_v$  関係

高さと同過時間の座標において、RI密度検層により測定される清濁水と懸濁液の密度をしきい値として等密度線を描くことにより明瞭に区分することができる。また、堆積土の密度分布の経時変化も評価することができる。すなわち、沈降堆積・自重圧密過程におけるRI密度検層は高い測定精度を有している。

- 2) RI密度検層によって算定される  $\log f \sim \log \alpha'_v$  関係は、 $w/w_L < 1.2 \sim 1.9$  において直線で近似することができる。さらに、この直線関係は段階荷荷による圧密試験(JIS A 1217)から得られる  $\log f \sim \log \alpha'_v$  関係とほぼ等しい。また、 $f \sim \log \alpha'_v$  関係においても同様の結果が得られる。
- 3) 本文で用いた3種類の試料は同一の試料を分級して作製した試料である。それぞれの液性限界  $w_L$  を用いて正規化した  $\log w/w_L \sim \log \alpha'_v$  関係と  $w/w_L \sim \log \alpha'_v$  関係は両者とも  $w/w_L < 1.3$  において概ね1本の直線関係として統一的に評価することができる。
- 4)  $w_L$  の1~2倍程度の含水比の超軟弱な浚渫埋立地盤において、RI密度検層と地盤内の間隙水圧の測定を実施するだけで、その後の自重圧密過程から荷荷圧密過程までの  $\log f$  (or  $f$ )  $\sim \log \alpha'_v$  関係を原位置において求められることが示唆される。

謝辞 本研究は、文部科学省科学研究費補助金(基盤研

究(B)(2), No. 15360250, 研究課題: ラジオアイソトープを用いた浚渫埋立粘土の沈降堆積・圧密挙動の評価に関する研究, 研究代表者: 梅崎健夫) の援助を受けた。ここに記して謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 山田優, 長坂勇二, 檜垣貫司, 川地武: 講座 発生土および廃棄物の地盤工学的処理と有効利用, 2. 発生土および廃棄物の現状と問題点, 土と基礎, Vol.41, No.11, pp.59-63, 1996.
- 2) 善 功 企: (社)地盤工学会 超軟弱地盤に対する調査・地盤改良工法に関する研究委員会 報告書 1. 概要, pp.1-18, 2002.
- 3) 梅崎健夫, 河村隆, 福島勇治, 稲垣太浩, 阿部哲生, 吉村貢: RI コーン貫入試験の軟弱地盤の基礎設計への適用, 第45回地盤工学シンポジウム, pp.43-48, 2000.
- 4) 梅崎健夫, 河村隆, 吉村貢, 喜多明, 今西肇: RI コーンを用いた超軟弱埋立地盤の調査と適用, 粘土地盤における最新の研究と実際 —微視的構造の観察から超軟弱埋立地盤対策技術まで— シンポジウム, pp.165-172, 2002.
- 5) Umezaki T., Kawamura, T., Yoshimura, M., Kita, A. & Imanishi, H.: Investigation of Ground Reclaimed with Dredged Clay Using RI-Cone Penetrometer, 12th ARC on SMGE, pp.253-256, 2003.
- 6) 梅崎健夫, 河村 隆, 福島勇治, 稲垣太浩, 安部哲生, 吉村 貢: RI コーン貫入試験による盛土基礎地盤の強度・変形特性の調査, 第36回地盤工学研究発表会, 2分冊の1, pp.119-120, 2001.
- 7) 梅崎健夫, 河村 隆, 福島勇治, 稲垣太浩, 安部哲生, 吉村 貢: RI コーン貫入試験による盛土基礎地盤の強度・変形特性の調査(その2), 第37回地盤工学研究発表会, 2分冊の1, pp.127-128, 2002.
- 8) 三村 衛, Shrivastava, A. K., 柴田 徹, 延山政之: RI コーンによる砂質地盤の原位置含水比・湿潤密度検層とその精度評価について, 土木学会論文集 No.638/III-49, pp.227-240, 1999.
- 9) 今西肇, 林健二: 超軟弱埋立地盤の施工過程を考慮した調査・設計・計測, 粘土地盤における最新の研究と実際—微視的構造の観察から超軟弱埋立地盤対策技術まで—に関するシンポジウム, pp.159-164, 2002.
- 10) 梅崎健夫, 河村 隆, 吉村 貢, 喜多 明, 今西 肇: RI センサーを用いた超軟弱粘土の沈降試験, 第36回地盤工学研究発表会, pp.337-338, 2001.
- 11) Been, K., Sills, G.C.: Self-weight consolidation of soft soils: an experimental and theoretical study, Geotechnique, Vol.31, No.4, pp.519-535, 1981.
- 12) 矢野弘一郎: 浚渫粘土による軟弱埋立地盤の性状とその予測, 土木学会論文集, No.364/III-4, pp.1-14, 1985.