掘削および構築時の支持地盤のヤング係数の変化

YOUNG'S MODULI OF BEARING STRATA ESTIMATED FROM VERTICAL DEFORMATION DURING EXCAVATION AND CONSTRUCTION

玉置 克之*, 桂 豊**, 岸田 了***

Katsuyuki TAMAOKI, Yutaka KATSURA and Satoru KISHIDA

A process for obtaining reliable Young's moduli of bearing soil strata (E) is discussed in this paper. The process is based on measurements of vertical strain (ϵ_v) of bearing strata during excavation and building construction. E for settlement analyses must be determined based on the relation between E/E_0 and ϵ_v during construction, where E_0 is the Young's modulus after excavation, which in turn is calculated from the Young's modulus E_0 from shear wave velocity before excavation. The relation between E/E_0 and ϵ_v during excavation is not equal to the relation between E/E_0 and ϵ_v in that E depends on both ϵ_v and stress level in the soil.

Keywords: Young's modulus, bearing stratum, mat foundation, settlement, velocity of S-wave, differential settlement gauge

ヤング率, 支持層, ベタ基礎, 沈下, S波速度, 層別沈下計

1. はじめに

直接基礎の即時沈下の計算は, 一般に支持地盤を弾性体と仮定して行われている。この場合, 支持地盤のヤング係数をどのように設定するかが重要な問題である。

構造物の沈下の測定に基づいた支持地盤のヤング係数の推定方法に関する従来の研究により, 標準貫入試験による N 値からの推定法^{1), 2)}や硬質粘土層に対する孔内水平載荷試験の適用性³⁾などが報告されている。最近では高層ビルなどにおける施工時の実測から, 笹尾⁴⁾, 玉野⁵⁾, 秋野⁶⁾および筆者ら^{7), 8)}により実測によるヤング係数とPS検層から求めたヤング係数との関係や, 実測によるヤング係数とひずみとの関係について報告されている。

また, 建築基礎構造設計指針には, 砂試料の繰返しせん断試験で得られたせん断ひずみとせん断剛性の関係を利用して, PS検層などのせん断波速度 V_s による微小ひずみ時のヤング係数 E_0 を低減する方法¹⁾が提案されている。しかし, その適用性についてはあまり明確になっていないのが現状である。せん断波速度試験は, 孔内水平載荷試験や標準貫入試験などの他の試験とは異なり非破壊試験であるので, 試験から求めるせん断波速度 V_s は他の試験値に比べて信頼性が高い。 V_s から求めた微小ひずみ時のヤング係数 E_0 を施工時の地盤に生ずるひ

ずみや拘束圧などの条件にあった適切な値に低減する方法が明確にできれば, V_s に基づいた推定方法は最も合理的な方法であろうと考えられる。

筆者らは, 施工時の支持地盤に生ずる鉛直変位を正しく測れるように工夫した新しい層別沈下計を作製し, 直接基礎により洪積層に支持された四つの建物の施工時に鉛直変位の測定を行った。これらの測定結果から, せん断波速度による微小ひずみ時のヤング係数 E_0 を低減して用いるのが他の調査による方法に比べて地盤のヤング係数の推定に対する適用性が高いものと考えられた⁹⁾。

本論文では, 四つの建物のうち掘削平面の中央部と端部の両方で支持地盤の鉛直変位を測定したKビルにおける測定結果を主に示し, 測定した地盤の鉛直変形量から求めた地盤のヤング係数 E と V_s から求めた E_0 の比 E/E_0 の性状に関して, 地盤の鉛直ひずみ ϵ_v および地中応力との関係, 掘削時と建物構築時の違い, 掘削平面の中央部と端部の違いなどについて述べた。

2. 支持地盤の鉛直変位の測定

2.1 鉛直変位の測定方法

従来は地盤の鉛直変位を地層別に測定するのに, 先端の深さを変えて設置した複数の二重管式沈下計を用いる

* 清水建設(株)技術研究所 主席研究員・工修

** 清水建設(株)技術研究所 主任研究員

*** 清水建設(株)技術研究所 研究員・工修

Chief Research Engineer, Institute of Technology Shimizu Corp., M. Eng.

Senior Research Engineer, Institute of Technology Shimizu Corp.

Research Engineer, Institute of Technology Shimizu Corp., M. Eng.

ことが多かった。しかし、この方法には、施工中に測定点の盛替えが必要である、多数の管が施工の障害になる測定に光学レベルを用いるので測定の精度が悪いなどの問題があったため、最近では電気式変位計を用いた様々な形式の層別沈下計により測定することが多くなっている。しかし、変位を正しく測定するには変位計の精度に加えて、沈下計の構造や設置方法についても十分な配慮が必要である。特に支持地盤の変位測定のような微小変位の測定では、内管と外管の競りや、変位計と地盤との一体化が不十分であることなどが測定値に大きな影響を与えるものと考えられる。

支持地盤の鉛直変位測定のために新しく考案し、作製した層別沈下計を図一に示した¹⁰⁾。作製した層別沈下計の主な特徴はつぎのとおりである。

- (a) 各区間の地盤の変形量を、各区間の上端部に設置した変位計で区間別に測定する新しい形式であり、区間別に測定する点で従来のものより測定の精度がよい。
- (b) 地盤と内管との縁切りに蛇腹式の外管を採用しており、外管が地盤の変位を拘束しない。
- (c) 変位計の地盤への定着はアンカーによるほか、地盤と外管の間にベントナイトモルタルを注入してより完全にしている。
- (d) 外管と内管の間は沈下計の先端部から地上部まで空隙が連続しており、外管の周囲のベントナイトモルタルがほぼ硬化した時点で先端から送水して、空隙部分を十分洗浄することができる。このため、仮に侵入した土砂やベントナイトモルタルが空隙部分にあっても最終的には残置することがなく、内管と外管に競りを生じない。

2.2 測定内容

掘削平面の中央部と端部で支持地盤の鉛直変位の測定

図一 層別沈下計詳細図

を行ったKビルは、地下3階、地上9階であり、基礎は直接基礎（べた基礎）である。Kビルでは層別沈下計による支持地盤の鉛直変位の測定に加え、中央部では層別沈下計の各変位計の部分に加速度計を取り付けて設置し、板叩き法により各掘削段階ごとに支持地盤のせん断波速度 V_s の測定を行った^{11),12)}。また、上述のほかに帯水層の間隙水圧の測定、および掘削底面に土圧計を設置して建物構築時の接地圧分布の測定も行った。

図二は、Kビルの平面であり、図中に層別沈下計、間隙水圧計、土圧計の配置、およびPS検層を行った事前調査の位置を示した。また、図三には、Kビルの地盤断面と事前調査による N 値および V_s 検層によるせん断波速度 V_s の分布、層別沈下計および掘削時のせん断波速度測定のための加速度計の設置深度、間隙水圧計の設置深度、掘削深度を示した。

地盤はGL-10 m までが比較的柔らかなロームおよび粘土層である。直接基礎はGL-14.3 m の洪積粘土層に支持されている。洪積粘土層の V_s は約 230 m/sec、圧密降伏応力は約 50 tf/m² である。

支持地盤の鉛直変位の測定は、掘削平面の中央部と端部から 4 m 離れた地点の 2 か所で行い、いずれもGL-35 m を基準点とし、基礎底面下の粘土層、砂層（上部）、礫混り砂層、および砂層（下部）の各層について測定した。

3. 鉛直変位の測定結果

施工時の支持地盤の地下水圧、土圧計による接地圧の

図二 計器配置図

図三 地盤断面および計器設置深度

測定値、および層別沈下計による各層の鉛直変形量の経時変化を図-4に示した。地下水位は粘土層の上部で掘削時に約3 m低下しているほかは変化していない。最終時の接地圧は10~11 tf/m^2 であり、建物荷重による平均接地圧(約10 tf/m^2)に近い値になっている。各層の鉛直変形は掘削時は膨張し、構築時は圧縮に転じている。

図-5(a)は、層別沈下計の先端を基準にした、掘削開始から終了するまで掘削期間の変位量、および掘削終了後から構築が終了するまでの構築期間の変位量の分布

である。掘削底面から下の20 mの全測定区間における掘削期間の変形量の総計は中央部が約14 mm、端部が約11 mmであり、構築期間の変形量の総計はいずれも約7 mmであった。図-5(b)は、図-5(a)の各層の変形量を層厚で除して求めた掘削および構築期間に生じた鉛直ひずみ ϵ_v の分布である。 ϵ_v は掘削底面から離れるほどいずれも小さくなっている。底面付近の粘土層の ϵ_v は掘削時が 1.5×10^{-3} 、構築時はその約1/2であり、10 m以深の礫混り砂層および砂層(下部)の ϵ_v はいず

図-4 測定値の経時変化

図-5 鉛直変位と鉛直ひずみの分布

図—6 鉛直応力と鉛直ひずみの関係

れも 0.5×10^{-3} 以下である。

掘削および構築による各層の中間深度の鉛直有効応力の変化量 $\Delta\sigma_v'$ と、各層の変形量を層厚で除して求めた鉛直ひずみ ϵ_v の関係を示したのが図—6 である。 $\Delta\sigma_v'$ は地盤内の鉛直応力の変化量 $\Delta\sigma_v$ と間隙水圧の変化量 Δu とから算出した値である。なお、掘削時の地盤内の $\Delta\sigma_v'$ は掘削初期からの排土重量を掘削底面に載荷し、構築時の $\Delta\sigma_v'$ は各時点の建物の重量と土圧計による接地圧分布とから設定した荷重分布を掘削底面に載荷し、いずれも長方形分割法により求めた。 $\Delta\sigma_v'$ と ϵ_v の関係は掘削時と構築時では異なっている。また、 ϵ_v が 1×10^{-3} 以下の鉛直ひずみにおいても非線形性を示している。

4. 鉛直変位から求めた地盤のヤング係数

4.1 ヤング係数の計算方法

支持地盤の応力とひずみの関係は図—6 のように非線形な関係を示す。しかし、基礎の即時沈下は地盤を等方弾性体と見なして弾性論により求めることが多い。この方法は、計算が簡便であり、地盤定数設定の精度や解析において考慮できる条件などからみて現実的な方法であると考えられる。層別沈下計により測定した各層の鉛直変形量 δ からの地盤のヤング係数の算出も、同じように弾性論により行うこととした。

鉛直変形量 δ から弾性論によりヤング係数を求める手順は図—7 に示したとおりである。まず、掘削時は掘

図—7 測定結果からのヤング係数の計算手順

削開始時、同様に構築時は構築開始時点初期値とした各時点までの変形量 δ から水位変位による地盤の変形量 δ' を差し引いた、水位変化しないときの変形量 δ_1 を求める。つぎに、各層のヤング係数とポアソン比を仮定し、掘削時は各時点までの排土重量を、構築時は土圧計による接地圧の測定結果に基づいた分布荷重を掘削底面に載荷して変形量 δ_2 を求める。このときの計算にはスタインプレナーの弾性近似解¹³⁾を用いた。また、地盤のポアソン比 ν は、建築基礎構造設計指針¹⁾に述べられた値を参考にして、地盤の種類別に常に次の値を仮定した。

砂質土層 $\nu=0.35$

砂礫層 $\nu=0.3$

粘性土層 $\nu=0.45$

ヤング係数を変えた繰返し計算を行い、 δ_1 と δ_2 とが等しくなったときのヤング係数の仮定値を実測によるヤング係数 E とした。なお、水位変化による地盤の変形量 δ' は、有効応力の変化により地盤が一次元圧縮または膨張するものとして、前の段階の計算において求めた E を用いて計算した。

4.2 支持地盤のヤング係数

図—7 の方法によって求めた掘削時の鉛直変位の実測値に基づくヤング係数 E と、ヤング係数を求めた時点の各層の変形量を層厚で除して求めた鉛直ひずみ ϵ_v の関係を図—8(a) に示した。同様に、構築時の E と ϵ_v の関係を図—8(b) に示した。

また、鉛直変位の実測値から求めたヤング係数 E と微小ひずみ時のヤング係数 E_0 の比 E/E_0 (以下ヤング係数比と呼ぶ) と ϵ_v の関係を、図—9(a) および (b) に示した。ここで、 E_0 は掘削前に行った PS 検層によ

る地盤のせん断波速度 V_{s0} から式 (1) により求めた値である。なお、 E_0 を求める際のポアソン比 ν には前述の値を用いた。

$$E_0 = 2(1 + \nu) \gamma \cdot V_{s0}^2 / g \quad (1)$$

ここに、 γ ：地盤の単位体積重量

g ：重力加速度

図—9 によれば、掘削時および建物構築時ともに ε_v

図—8 ヤング係数と鉛直ひずみの関係

図—9 ヤング係数比と鉛直ひずみの関係

の増加によりヤング係数比 E/E_0 は減少しており、 E/E_0 と ε_v は地盤の種類や深さによらずほぼ一定な関係を示している。しかし、掘削時は ε_v が増すにつれて片対数グラフ上で E/E_0 の低下率が増す傾向があるが、構築時は徐々に低下率が減少する傾向があり、 E/E_0 と ε_v の関係は掘削時と構築時では異なっている。

中央部と端部の違いについてみると、図—9(a) の掘削時は、底面直下の粘土では端部が中央部より少し大きく、砂層（上部）では逆になっている。また、底面から 10 m 以深の礫混り砂層と砂層（下部）の中央部と端部の差が $\varepsilon_v < 1 \times 10^{-4}$ の部分で大きいなど、中央部と端部の違いの傾向は明確でない。一方、図—9(b) の構築時は、底面直下の粘土層、砂層（上部）、砂層（下部）ともに端部が中央部より大きな値となっている。

5. 掘削および構築時のヤング係数比の性状

5.1 地中応力の解析

層別沈下計に取付けた加速度計により掘削段階ごとに測定したせん断波速度 V_s と地中応力の関係、および中央部と端部のヤング係数比 E/E_0 の違いと地中応力との関係の検討のために、2次元 FEM 解析を実施し、各掘削時点の地中応力を求めた。

図—10 はその解析モデルである。図中には各掘削段階における掘削深度も示した。地中応力計算時の各層のヤング係数には掘削終了時の建物平面の中央部の ε_v から図—7 の方法により算出したヤング係数を用いた。また、ポアソン比 ν は前述の値（粘土：0.45、砂：0.35、礫混り砂：0.3）とした。なお、各層の初期の静止土圧係数 K_0 は、粘土層の圧密試験による過圧密比が 2.5 であることを参考に、すべての地層について $K_0 = 1$ と仮定した。予備解析の結果から、Kピルの場合は山留め壁の剛性および壁と地盤の摩擦係数の大きさが地中応力にはほとんど影響を及ぼさないことが分かっている¹⁴⁾。

上述の仮定により計算した、各掘削段階における鉛直有効応力 σ'_v と、鉛直および水平 2 方向の平均有効応力

図—10 解析モデル

(a) 鉛直有効応力

(b) 平均有効応力

□掘削前 ◁一次 ◇二次 ▷三次 ○掘削終了時
●掘削終了時：スタインプレナー

図一11 掘削による地中応力の変化

σ'_m の解析値を図一11に示した。 σ'_v および σ'_m とともに掘削の進行に伴って減少しており、その減少量は端部よりも中央部が大きい。また、 σ'_v に比べて σ'_m が大きく、掘削に伴う水平応力の減少量は鉛直応力の減少量よりも小さいことが分かる。

図一11(a)には、図一7において実測の鉛直変形量からEを求めるのに用いたスタインプレナーの弾性近似解によって計算した掘削終了時点の σ'_v も示した。スタインプレナーの弾性近似解はFEM解析値とほとんど差がなく、スタインプレナーの弾性近似解による掘削底面下の鉛直応力の計算値の誤差は少ないものと考えられる。

5.2 地中応力と微小ひずみ時のヤング係数の関係

Kピルの各掘削段階に測定したせん断波速度 $V_s^{(12)}$ と図一11の σ'_v および σ'_m の関係を図一12に示した。 V_s は掘削による地中応力の減少により低下しており、 V_s

図一12 掘削時のせん断波速度の変化

図一13 掘削前と掘削後のヤング係数の比

と σ'_v および σ'_m との間には、およそ式(2)および式(3)の関係がある。

$$V_s = \alpha \cdot \sigma_v'^{0.2} \dots \dots \dots (2)$$

$$V_s = \beta \cdot \sigma_m'^{0.3} \dots \dots \dots (3)$$

ここに、 α, β ：地盤によって異なる係数

V_s が拘束圧に依存することは室内試験により既に確認されているが^{(15), (16)}、図一12は同じ性状を示すことを原位置の測定から明らかにしたものである。

式(2)、式(3)および前述の式(1)に基づき、掘削時の微小ひずみ時のヤング係数 E'_0 は式(4)または式(5)によって表せる。

$$E'_0 = 2(1+\nu)\gamma \cdot V_s^2 (\sigma'_v / \sigma_{v0}')^{0.4} / g \dots \dots \dots (4)$$

$$E'_0 = 2(1+\nu)\gamma \cdot V_s^2 (\sigma'_m / \sigma_{m0}')^{0.6} / g \dots \dots \dots (5)$$

ここに、 σ_{v0}' 、 σ_{m0}' ：掘削前の地中応力

σ'_v 、 σ'_m ：掘削時の地中応力

したがって、掘削前と掘削時の地中応力を求めることによって、掘削前の地盤のせん断波速度 V_{s0} から掘削途中あるいは掘削終了後の微小ひずみ時のヤング係数 E'_0 を求めることができる。

5.3 掘削平面の中央部と端部のヤング係数比の違い

地盤の V_s は掘削による地中応力の減少により低下する。図一11(b)の σ'_m の分布に基づき、式(5)を用い、

図—14 掘削後の E_0' を用いた中央部と端部のヤング係数比の比較 (構築時)

図—15 ヤング係数比と鉛直ひずみの関係 (掘削時)

掘削終了時点と掘削前の微小ひずみ時のヤング係数の比 E_0'/E_0 を求めたのが図—13 であり、中央部の E_0'/E_0 は端部に比べて小さい値になる。したがって、構築時については、事前調査による V_{s0} から求めた微小ひずみ時のヤング係数 E_0 の代わりに平面位置で異なる掘削終了時点の E_0' を基準にしてヤング係数比 E/E_0' の性状について検討するのが適切である。

掘削終了時点の中央部と端部の各地層の E_0' を用いて、図—9(b) の構築時の E/E_0 と ε_v の関係を書き直したのが図—14 である。中央部と端部の E/E_0' と ε_v の関係の差は、掘削底面直下の粘土層の場合を除き、図—9(b) の E/E_0 と ε_v の関係の場合より小さい。平面位置により異なる掘削終了時の E_0' を用いた場合、構築時の中央部と端部のヤング係数比 E/E_0' と鉛直ひずみ ε_v の関係はほぼ等しい関係を示すものと考えられる。

5.4 ヤング係数比と鉛直ひずみの関係

掘削時のヤング係数比 E/E_0 と鉛直ひずみ ε_v の関係について、図—9(a) の K ビルにおける掘削中央部の結果に、筆者らがその他の建物の掘削平面のほぼ中央で測定した結果⁹⁾ も加えて、地盤種類別に図—15 に示した。地盤の種類による明確な差はなく、 E/E_0 と ε_v の関係はおおよそ式 (6) で表される。

$$E/E_0 = 0.6 \times e^{-600\varepsilon_v} \dots \dots \dots (6)$$

また、図—16 は、掘削終了時の E_0' を用いたときの、

図—16 ヤング係数比と鉛直ひずみの関係 (構築時)

図—17 鉛直有効応力比とヤング係数比の関係

構築時の掘削中央部におけるヤング係数比 E/E_0' と ε_v の関係であり、図—15 と同様に K ビル以外の結果⁹⁾ も併せて地盤種類別に示したものである。構築時の E/E_0' と ε_v の関係はおおよそ式 (7) で表される。

$$E/E_0' = 0.01 \times \varepsilon_v^{-0.45} \dots \dots \dots (7)$$

ヤング係数比は掘削時および構築時ともに ε_v の増加に伴って低下する。しかし、掘削時の E/E_0 と ε_v の関係と構築時の E/E_0' と ε_v の関係は異なる。これは、掘削時は ε_v の増加による E の低下に加え、地中応力の減少により E がさらに低下し、 E/E_0 の低下率が増加するためと考えられる。一方、構築時は地中応力の増加によって E の低下率は逆に減少するため E/E_0' と ε_v の関係は凹な性状を示すものと考えられる。図—15 および図—16 は、地盤のヤング係数が地盤のひずみに依存するとともに、施工時の地中応力の影響を受ける、地盤のヤング係数の性状を明確に表したものとと言える。

事前調査による地盤のせん断波速度と、式 (6) および式 (7) のヤング係数比と鉛直ひずみの関係とから、鉛直変位の実測値からヤング係数 E を計算するのに用いた前述のポアソン比を仮定して、繰返し計算を行うことにより、実状に合った各掘削および構築時点の地盤ヤング係数を推定することが可能である。

なお、図—17 は掘削時の中央部における鉛直有効応力 σ_v' と掘削前の鉛直有効応力 σ_{v0}' の比 σ_v'/σ_{v0}' とヤング

係数比 E/E_0 の関係である。 σ'_v/σ'_{v0} と E/E_0 の間にはほぼ直線関係があり、 E/E_0 はおよそ式 (8) で表せる。

$$E/E_0 = 0.6 \cdot \sigma'_v/\sigma'_{v0} + 0.1 \cdots \cdots (8)$$

各掘削時点の地盤の変形量を求める際の地盤のヤング係数については、事前調査による地盤のせん断波速度と、掘削前の σ'_{v0} および掘削時の σ'_v とから式 (8) により容易に推定することができる。

6. 結 論

考案した新しい形式の層別沈下計を用いて、直接基礎により支持された建物の施工時に支持地盤の鉛直変位を測定した。掘削および建物構築開始時点からの鉛直変位から、スタインブレナーの弾性近似解を用いて支持地盤のヤング係数 E を求め、 E と事前調査によるせん断波速度 V_s から求めた微小ひずみ時のヤング係数 E_0 との比 (ヤング係数比 E/E_0) の性状について明かした。

また、層別沈下計の各変位計部分に取り付けた加速度計によって掘削時の地盤のせん断波速度 V_s の変化を測定し、地中応力とせん断波速度の関係を明らかにした。

上述の測定により、支持地盤のヤング係数の推定方法にかかわる次のことが明らかになった。

(1) 地盤のせん断波速度 V_s は掘削による地中応力の減少により低下し、両者の関係は式 (2)、および式 (3) で表せる。したがって、建物構築時については、事前調査時の V_{s0} から求めた E_0 の代わりに、式 (2) または式 (3) により求めた掘削終了時点の微小ひずみ時のヤング係数 E'_0 を基準にするのが適切である。

(2) 掘削時の E/E_0 と ε_v の関係と構築時の E/E'_0 と ε_v の関係は異なり、掘削時に関しては式 (6)、構築時に関しては式 (7) で表せる。

(3) 掘削終了後の地中応力分布は平面位置により異なるので、建物構築時に関しては平面位置により異なる E'_0 を用いるのが望ましい。

(4) 掘削時の地盤の鉛直有効応力と掘削前の鉛直有効応力の比 σ'_v/σ'_{v0} と E/E_0 の間にはおよそ式 (8) の関係があり、掘削時の E については掘削前と後の鉛直有効応力を求めることによって容易に推定することができる。

7. おわりに

施工時に行った支持地盤の鉛直変位の測定結果から地盤のヤング係数の性状について述べた。得られたヤング係数比と鉛直ひずみの関係などは実測に基づいたものであるので実際の現象とよく対応し、支持地盤のヤング係数の推定に対する適用性は高いものと考えられる。

謝 辞

今回の測定に用いた層別沈下計の作製にあたっては、清水建設東京支店技術部 天野 賢氏ならびに自動制御技術研究所 谷口勝利氏に多大な御協力を頂いたことを

感謝いたします。また、実測計画と実施にあたっては清水建設設計本部構造設計部ならびに建築本部の方々の御協力、御支援頂きましたことに末筆ながら感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針，pp.146～154，1988.
- 2) Burland J.B. Burbidge M.C. : Settlement of Foundations on Sand and Gravel, Proc. Institution of Civil Engineers, Part 1, Vol.78, pp.1325～1381, 1985.
- 3) 植下 協, 松井克俊, 大岡 武, 永瀬信一：地盤の挙動計測による建築基礎の合理化の例，土質工学会論文報告集，Vol.13, No.3, pp.87～95, 1973.
- 4) 笹尾 光：東京における超高層ビルの沈下性状，鹿島建設技術研究年報，Vol.24, pp.141～146, 1975.
- 5) 玉野富男, 福井 聡, 村上 仁, 門田俊一：土留め掘削底部地盤におけるリバウンドの力学挙動解析，土木学会論文集，第418号，pp.221～230, 1990.
- 6) 秋野矩之：地盤の剛性評価と建物の沈下予測，日本建築学会構造系論文報告集，第412号，pp.109～119, 1990.
- 7) 玉置克之, 宮本武司：砂層の沈下量推定における結果の適用性，平板載荷試験に関するシンポジウム発表論文集，pp.51～58, 1979.
- 8) 玉置克之, 土屋 勉：施工時の建物の沈下実測結果および沈下推定に対する現位置試験結果などの適用性の検討，清水建設研究所報，第35号，pp.1～9, 1982.
- 9) 玉置克之, 桂 豊, 岸田 了：施工時の鉛直変位測定に基づく支持地盤のヤング係数，清水建設研究報告，第55号，pp.11～20, 1992.
- 10) 玉置克之, 西尾伸也, 後藤 茂, 天野 賢：層別沈下計測による支持地盤の変形係数，第23回土質工学研究発表会発表講演集，pp.1245～1246, 1988.
- 11) 西尾伸也, 玉置克之, 佐藤正義, 天野 賢：掘削に伴う地盤のS波速度の変化，第23回土質工学研究発表会発表講演集，pp.641～644, 1988.
- 12) 西野伸也, 桂 豊, 玉置克之, 森 誠二：掘削に伴う支持地盤の変形性状 (その3) —せん断波速度から求めた支持地盤の変形係数，第25回土質工学研究発表会発表講演集，pp.1137～1138, 1990.
- 13) Terzaghi K. : Theoretical Soil Mechanics, Wiley, pp.423～425, 1943.
- 14) 玉置克之, 岸田 了, 桂 豊, 社本康広：支持地盤のヤング係数の推定方法，清水建設研究報告，第55号，pp.21～29, 1992.
- 15) Hardin B.O. & Richart F.E., Jr. : Elastic Wave Velocities in Granular Soils, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol.89, No.SM1, pp.33～65, 1963.
- 16) Nishio S. and Tamaoki, K. : Measurement of Shear Wave Velocities in Diluvial Gravel Samples under Triaxial Conditions, Soils & Foundations, Vol.28, No.2, pp.35～48, 1988.

(1992年8月21日原稿受理，1993年1月27日採用決定)