



盛土の沈下量を考慮した軟岩土量変化率の検討

鳥居, 宣之
西, 勝
吉田, 信之
木村, 篤司

(Citation)

神戸大学都市安全研究センター研究報告, 2:57-69

(Issue Date)

1998-03

(Resource Type)

departmental bulletin paper

(Version)

Version of Record

(JaLDOI)

<https://doi.org/10.24546/00317461>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/00317461>



盛土の沈下量を考慮した軟岩土量変化率の検討

An Examination of Bulking Factor of Soft Rock considering Settlement of Embankment

鳥居 宣之¹⁾

Nobuyuki TORII

西 勝²⁾

Masaru NISHI

吉田 信之³⁾

Nobuyuki YOSHIDA

木村 篤司⁴⁾

Atsushi KIMURA

概要：第三紀の神戸層群軟岩は岩種によっては、スレーキングにより掘削岩塊の状態が変化するため、実際に近い土量変化率を把握することが土工計画の検討には重要である。本報では、神戸層群軟岩および大阪層群砂礫層を対象として大型締固め試験や大型特殊圧縮試験等を実施し、その結果を用いた解析により土量変化率の検討を試みた。

キーワード：軟岩、大型特殊圧縮試験、盛土、土量変化率

1. はじめに

兵庫県が進めている産業・文化・研究・防災の拠点となる新都市は、近辺に既存の造成宅地や道路をかかえる山間部や丘陵地に計画されている。このような場所で大規模な造成を行う際には、土砂搬出時の環境への影響や土砂処分地の確保などが問題視されており、切土・盛土のバランスを重視し、地区外への搬出を極力少なくするような基本計画が必要である。切土・盛土のバランスを配慮した土工の計画に際しては、造成地の詳細な地盤状況の把握に加えて、切土で発生する岩塊・土砂の圧縮特性や盛土の沈下特性を詳細に把握して、実際の土量変化率を検討することが重要である。

本報では、兵庫県が計画している新都市における土工計画の重要な要因の1つである土量変化率を検討するため、切土の対象となる神戸層群軟岩および大阪層群砂礫層を対象として、掘削や水浸による盛土の沈下特性を得るために大型特殊圧縮試験を実施した。さらに、その試験の結果を用いた解析により、盛土の沈下に伴う盛土量の変化を考慮した土量変化率の把握を試みた。

2. 地形・地質概要

新都市計画地および周辺は、三田盆地から南西方向に延びる丘陵地に立地しており、その標高は尾根部では120～200m、谷底部では100～130mである。尾根部はやせ尾根となり、侵食が著しい。谷の両側斜面は比較的急傾斜で、谷部は小規模な谷底平地とため池となっている。三田地域の地質¹⁾によれば、計画地区には三木から三田盆地にわたり広範囲に分布する新生代新第三紀神戸層群と、これの上位に不整合に分布する大阪層群が認められる。計画地区の基盤岩である神戸層群は半固結～固結の礫岩・砂岩・泥岩・凝灰岩などの軟質岩から構成されており、表層部の深度5m位までは風化している。

3. 本研究の方法

本研究のフローチャートを図-1に示す。計画対象地において、大阪層群砂礫層 Og および神戸層群の砂岩

Ks・礫岩 Kg・凝灰岩 Kt・泥岩 Km を対象として、大型現場密度試験と大径の粒度試験を実施した。また、採取した試料を用いて、室内において物理試験、標準締固め試験、大型締固め試験および大型特殊圧縮試験を実施した。試験方法をまとめたものを表-1に示す。

大型締固め試験は、盛土材料を用いた造成地盤の安定性を確保するために、どの程度の含水比でどの程度に締固めたら良いかを知るために実施した。JIS に定められている突固めによる土の締固め試験は、比較的实际の施工機械の締固め効果に近い結果を得ることができるということが経験的に知られており、これによ

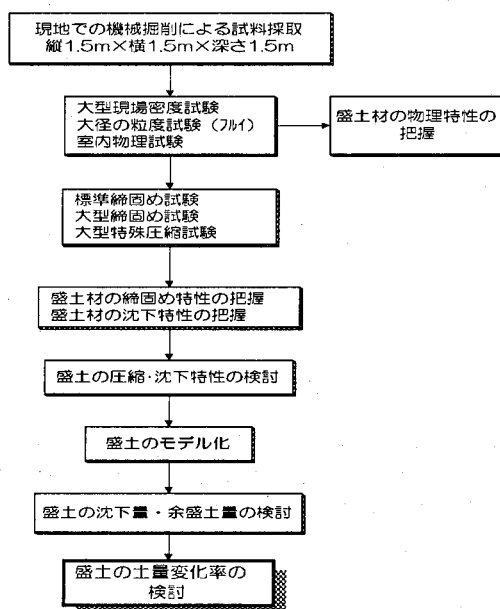


図-1 本研究のフローチャート

表-1 試験方法の概略

試験名	試験方法
大型現場密度試験	砂置換等による密度測定の実用が困難な軟岩や砂礫を対象としているので、水置換法を採用した。ベースプレートは縦1.5m×横1.5mの規模とし、測定方法は地盤工学会基準「水置換による土の密度試験方法」に準じて実施した。なお、実際の造成工事に準じて重機により掘削を行った。
粒度調整	締固め試験および圧縮試験に用いる試験試料の粒度調整を、粒度試験から得られた粒径加積曲線をもとにして、各試料毎に行った。
大型締固め試験	モールド寸法がφ50×h50cm、ランマーは直径10cmの円形の縁端面をもった重さ10kgのもので、100cmの高さから自由落下させ、110回×5層(1層当たり10cm)の突固めを行った。締固めエネルギーは、Standard proctorに相当する $E_c=5.6(\text{cm} \cdot \text{kgf}/\text{cm}^3)$ とし、JIS A 1210に準じて行った。試験用試料としては最大粒径を100mm以下とする。供試体は空気乾燥試料を加水して含水量を調整し、試験は非繰返し法により行った。本試験を行うに際し、締固め曲線のピーク値を精度良く求める必要があるため、事前にJIS規格の標準締固め試験(B-b法)を実施した。
大型特殊圧縮試験	内径φ50×h40cmの鋼製モールドを用いた。載荷装置は0.4, 0.8, 1.6, 3.2 kgf/cm ² の油圧式恒圧自動制御機構で、載荷重および圧縮変形量をそれぞれロードセルと変位計により自動計測・記録した。記録装置としてはデータロガーを用いた。供試体は大型締固め試験により得られた最大乾燥密度の85%で自然含水比のものをモールド内で厚さが20cmになるように突固めて作成した。載荷装置にかけた供試体はまず0.2kgf/cm ² で予備載荷を行い、いったんその載荷を解放したのち、0.4→0.8→1.6→3.2kgf/cm ² の段階で載荷し、各荷重段階における沈下が終了した時点で次の荷重段階に移行し、所定の荷重段階に達した後、供試体の下部から徐々に水浸させて水浸沈下量を計測した。

って安全な締固めの程度や最適な含水比の予測が可能である。ただし、今回の一連の試験はこれとは別に、盛土完成後の地下水等による浸水によって促進される岩屑の風化細粒化や粒子間摩擦の減少によって発生する沈下を定量的に予測するために行う大型特殊圧縮試験に連動して、使用する試料の最大粒径に適応した締固め試験を行うために突固め試験機も大型化したものである。また、岩礫状の盛土材料は盛土後風化したり、粒子破碎を生じたりして、通常の締固め試験結果に基づく施工管理基準に従って施工すると予想外の沈下を引き起こすことがある。このような事態を避けるため、現場の盛土材料の粒径に近い試料を使用できる大型特殊圧縮試験機を用いて現場で土が受ける応力状態を再現し、その応力状態の下で水浸させることにより、水浸による風化や粒子移動に起因する変形特性の把握を試みた。

4. 試験結果

(1) 現場試験および室内物理試験結果

現場試験(大型現場密度試験・大径の粒度試験)と室内物理試験(比重試験・含水比試験・粒度分析試験)の結果をまとめたものを表-2に、各試料毎の粒径加積曲線を図-2に示す。

表-2 現場試験および室内物理試験結果

No.	1	2	3	4	5
地 質	大阪層群 砂礫層 Og	神戸層群 礫岩 Kg	神戸層群 凝灰岩 Kt	神戸層群 砂岩 Ks	神戸層群 泥岩 Km
湿潤密度 (t/m ³)	2.254	1.993	2.253	1.908	1.401
乾燥密度 (t/m ³)	2.075	1.888	1.876	1.524	0.899
土粒子の比重	2.668	2.655	2.503	2.658	2.723
自然含水比 (%)	8.60	6.60	20.10	25.20	55.80
礫 分 (2mm以上) (%)	76	70	82	46	4
砂 分 (75μm~2mm) (%)	19	21	13	37	21
シルト分 (5~75μm) (%)	2	6	4	12	36
粘土分 (5μm未満) (%)	3	3	1	5	39
均等係数	51.6	176.0	129.0	162.0	-
曲率係数	2.20	2.75	14.00	1.03	-
最大粒径 (mm)	150	75	75	300	19
液性限界 (%)	-	-	-	67.2	130.3
塑性限界 (%)	-	-	-	28.9	41.7
塑性指数	-	-	-	38.3	88.6
土質分類	G-C	G-M	G-V	GC	CH

計画地区周辺の既存調査の物理試験結果より各試料の湿潤密度は、神戸層群の礫岩 Kg で 2.362(t/m³)、凝灰岩 Kt で 2.095(t/m³)、砂岩 Ks で 2.166(t/m³)、泥岩 Km では 1.880(t/m³)であった。既存調査の値と比較すると、凝灰岩 Kt だけが既存調査結果よりも高い値となっている。これは今回採取した凝灰岩 Kt が新鮮で硬質なものであったのに対し、それ以外の試料は風化作用を受けており、特に泥岩 Km は強風化部であったためと考えられる。

日本統一土質分類法を適用すれば、大阪層群砂礫層 Og は(G-C)「粘土混り礫」、神戸層群の礫岩 Kg は(G-M)「シルト混り礫」、凝灰岩 Kt は(G-V)「火山灰質土混り礫」、砂岩 Ks は(GC)「粘土質礫」、泥岩 Km は(CH)「粘土」であった。

また、これらの試料は岩塊が多いので一般的な土質とは異なるが、粒度分布の良否を日本統一土質分類法によって判断すれば、均等係数 $U_c \geq 10$ かつ $1 < U'_c \leq \sqrt{U_c}$ のものが「粒度がよい」ということになる。したがって、大阪層群砂礫層 Og、神戸層群の礫岩 Kg、砂岩 Ks は「粒度がよい」ということになり、凝灰岩

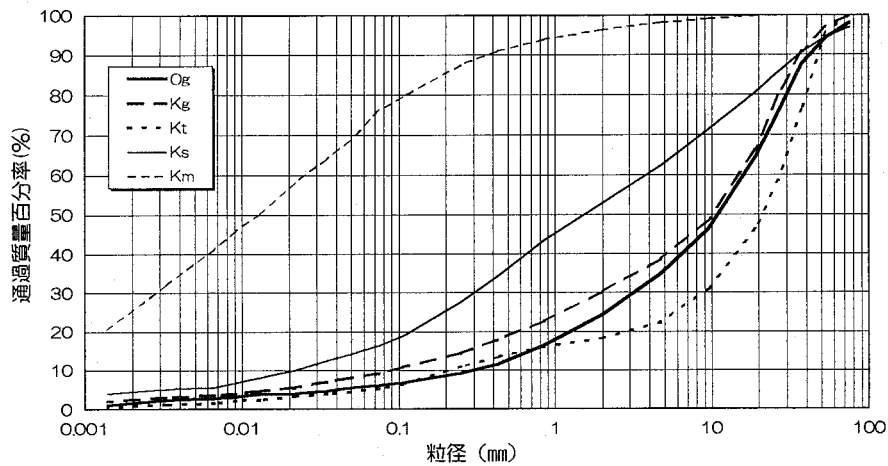


図-2 各試料毎の粒径加積曲線

Kt は $U_c \geq 10$ 、 $U'_c > \sqrt{U_c}$ であるから「粒度が悪い」という判定となった。塑性指数は液性限界と塑性限界の差をいい、塑性指数が大きいものほど塑性度が高く、より塑性的な土であることから判断すれば、泥岩 Kt は塑性度が高いといえる。

(2) 大型締固め試験結果

大阪層群砂礫層 Og、神戸層群の礫岩 Kg、凝灰岩 Kt、砂岩 Ks を用いて大型締固め試験を行った。

なお、泥岩 Km に関しては採取試料の粒径が全体的に小さく、大型特殊圧縮試験を適用することは試験時間を多大に要し、その利点が少ないと判断されるため、大型特殊圧縮試験の対象外とした。

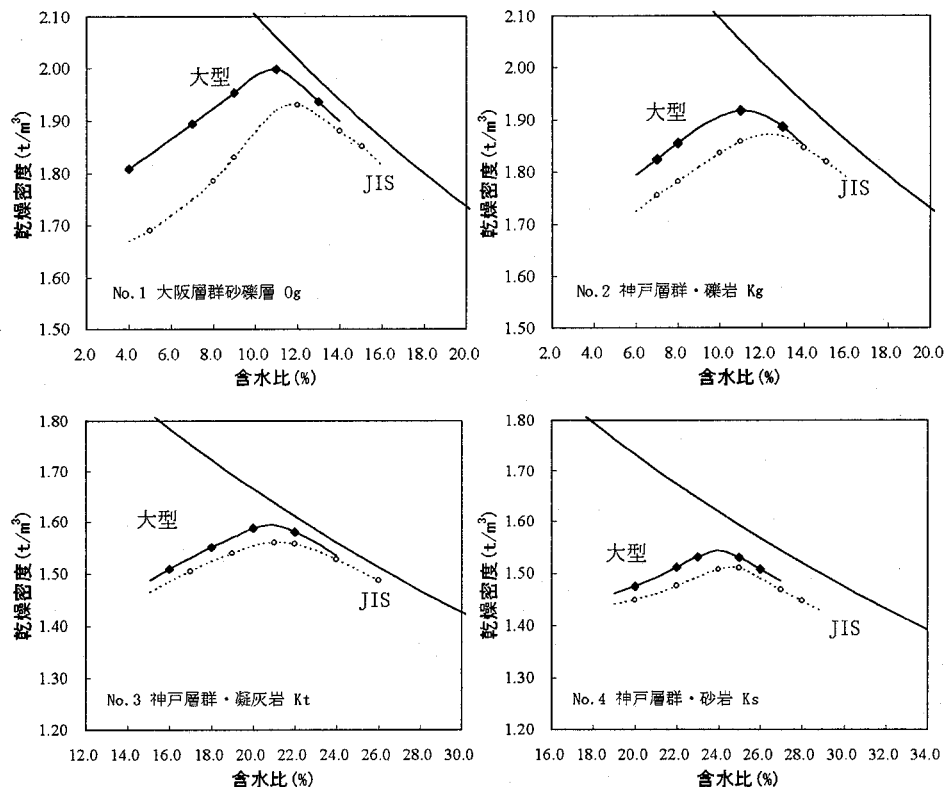


図-3 各試料毎の締固め曲線

大型締固め試験より得られた各試料毎の締固め曲線を図-3に、最大乾燥密度と最適含水比をまとめたものを表-3に示す。また、締固め曲線のピーク値を精度良く求める必要があるため、事前に JIS 規格の標準締固め試験(B-b 法)を実施したので、その結果についても図に重ねて示す。

表-3 各試料毎の最大乾燥密度と最適含水比

No.	1	2	3	4
地 質	大阪層群 砂礫層 Og	神戸層群 礫岩 Kg	神戸層群 凝灰岩 Kt	神戸層群 砂岩 Ks
最大乾燥密度(大型) (t/m ³)	1.998	1.918	1.592	1.544
最適含水比(大型) (%)	10.79	11.10	20.55	24.29
最大乾燥密度(JIS) (t/m ³)	1.929	1.871	1.561	1.518
最適含水比(JIS) (%)	11.90	12.35	21.10	24.72

野田²⁾は、同じ突固めエネルギーでも試験に用いるモールドの大きさによって、得られる最大乾燥密度や最適含水比は異なってくることを報告している。これは、モールド径によって適用できる試料の最大粒径が異なっており、JIS モールドでは大粒径のものを除去した試料となり、細粒分を多量に含むことになるため、最大乾燥密度が小さくなるからである。図-3 および表-3より、本試験結果でもすべての試料で大型締固め試験の結果の方が、JIS 締固め試験の結果より大きな値が得られている。大型締固め試験の結果に対する大型締固め試験の結果と JIS 締固め試験の結果との差の百分率は、大阪層群砂礫層 Og で 3.5%、神戸層群の礫岩 Kg で 2.5%、凝灰岩 Kt で 2.0%、砂岩 Ks では 1.7%となっており、野田²⁾が神戸層群の礫岩 Kg・砂岩 Ks に対して同様の試験を行った結果（4%前後）と比較すると、今回の結果は若干小さな値となっている。最適含水比についてみると、これらはいずれも大型締固め試験の結果の方が低い値であり、大型締固め試験の結果に対する大型締固め試験の結果と JIS 締固め試験の結果との差の百分率は砂礫層 Og で 10.7%、礫岩 Kg で 11.3%、凝灰岩 Kt で 2.6%、砂岩 Ks では 1.8%となっている。

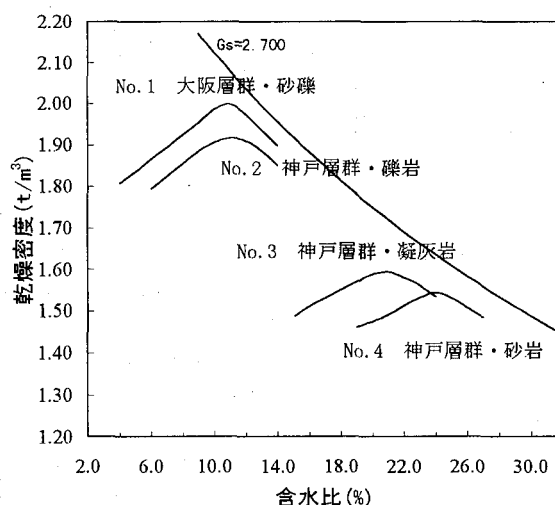


図-4 岩種による締固め特性の差異

図-4 に示した岩種による締固め特性の差異を見ると、最大乾燥密度は砂礫層 Og が最も大きく、ついで礫岩 Kg、凝灰岩 Kt、砂岩 Ks の順となっている。砂礫層 Og や礫岩 Kg のような試料は、突固めにより礫分・砂分・細粒分に分解し、それらが適度に分布するようになり、締固まりやすい粒土分布の土砂に変化したと考えられる。一方、砂岩 Ks は試料の粒径が比較的そろっているので締固まりにくく、最大乾燥密度は小さくなったと考えられる。また、最適含水比は砂岩 Ks がもっとも大きく、凝灰岩 Kt、礫岩 Kg、砂礫層 Og の順であった。砂岩 Ks や凝灰岩 Kt の最適含水比は、自然含水比とほぼ同じぐらいであるが、礫岩 Kg や砂礫層 Og の最適含水比は自然含水比よりも大きく、特に礫岩 Kg はその差が大きかった。

(3) 大型特殊圧縮試験結果

a) 時間～沈下量曲線

各試料毎の圧縮から水浸までの全課程における時間と沈下量の関係を図-5 に示す。

これらによると、圧縮過程では上載荷重が増加していくと若干沈下が終了するまでに要する時間が長くな

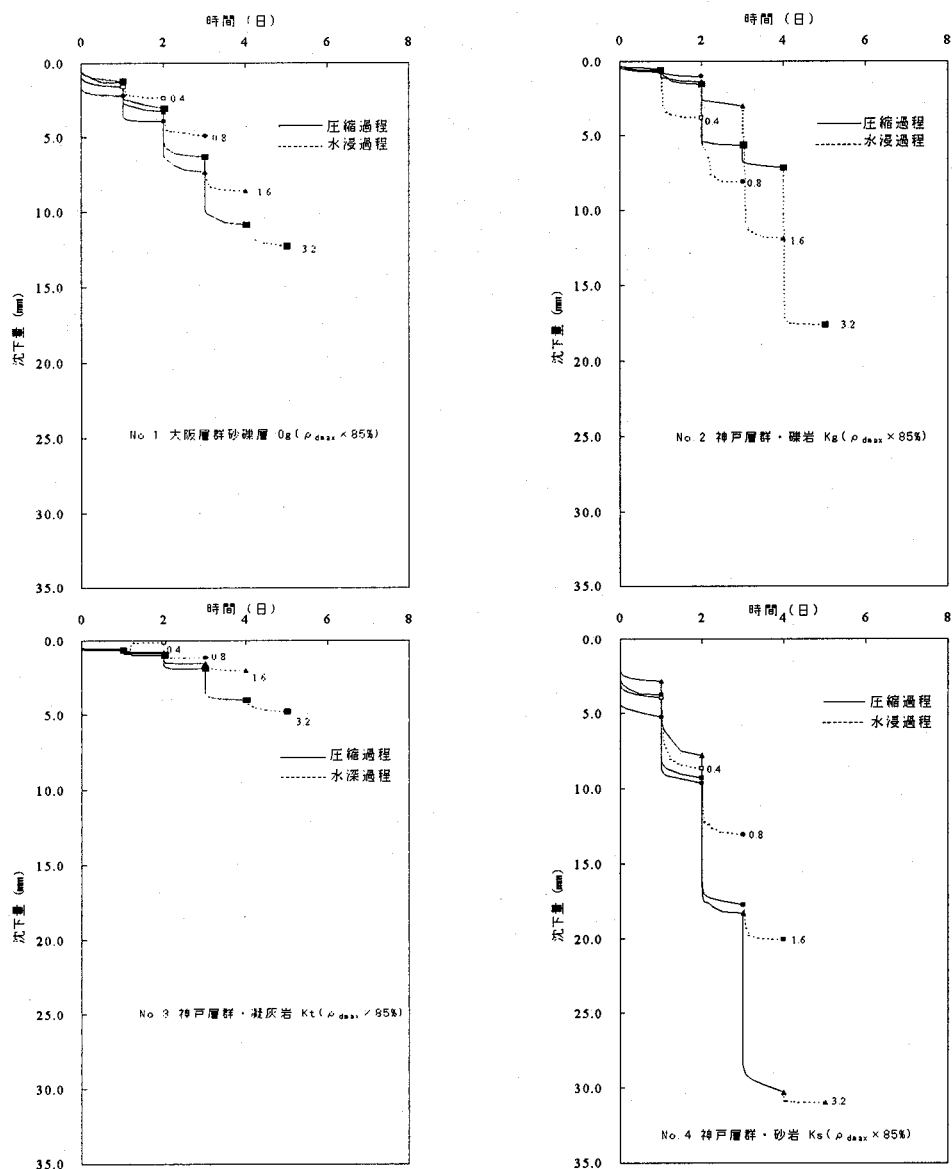


図-5 各試料毎の時間～沈下曲線

る傾向が見られるが、沈下量の大部分は即時沈下で占められていることがわかる。また、水浸過程においても供試体が飽和した後、急激な沈下が見られるが、圧縮過程のように短時間で沈下が終了してしまうことはなく、穏やかな速度ではあるが、長く沈下は進行している。沈下の終了までの時間は上載荷重の大きなものほど長くなるが、今回の最大上載荷重である 3.2 kgf/cm^2 (314 kPa) においても 1 日以内でほとんど終了している。試料別に見ていくと、沈下量は砂岩 Ks が最も大きいことがわかる。凝灰岩 Kt では、上載荷重が 0.4 kgf/cm^2 (39 kPa) 時の水浸過程において膨張しており、上載荷重が小さい場合には沈下せずに膨張する可能性があることに注意する必要があるといえる。

b) 上載荷重～ひずみ曲線

各試料毎の上載荷重と圧縮ひずみおよび上載荷重と全ひずみ(圧縮ひずみ+水浸ひずみ)の関係は図-6 のようになる。上載荷重と圧縮ひずみの関係では、すべての試料で上載荷重の増加に伴い、ひずみ量が増加していることがわかる。また、この曲線は若干上に凸の形となり、上載荷重の大きい範囲では上載荷重の小さい範囲に対して、上載荷重の増加に伴うひずみ量の増分が小さくなる傾向があるといえる。上載荷重と全ひずみの関係を見ても同様の関係があるといえる。

図-7 は各試料毎の上載荷重と圧縮ひずみおよび上載荷重と水浸ひずみの関係をまとめたものである。砂岩 Ks は圧縮ひずみ量に対して水浸ひずみ量が非常に小さく、水浸による沈下量が小さい材料であるといえる。また、礫岩 Kg については他の試料と異なり、水浸ひずみ量が圧縮ひずみ量に対して大きく水浸による沈下量が大きい材料であるといえる。

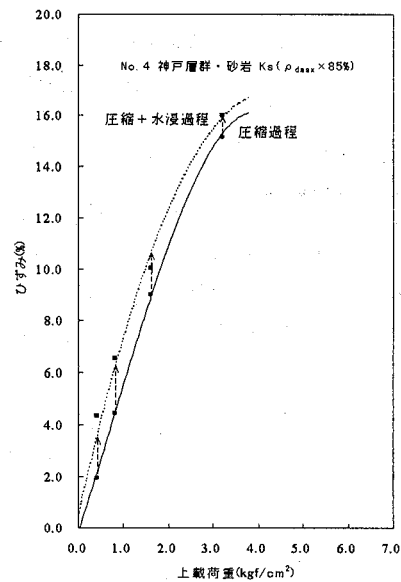
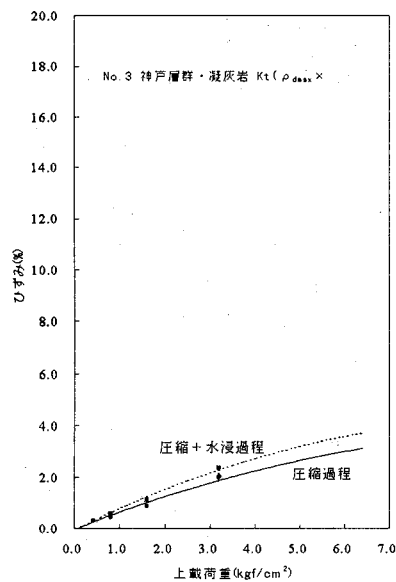
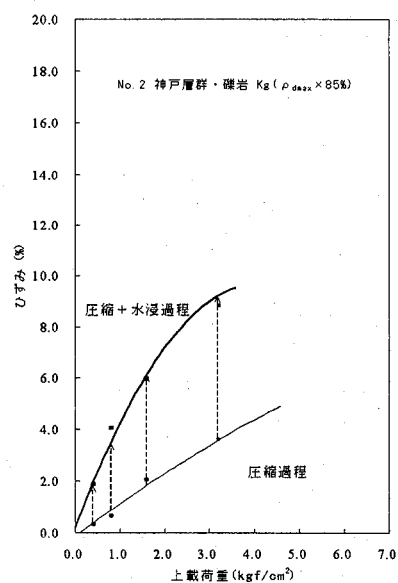
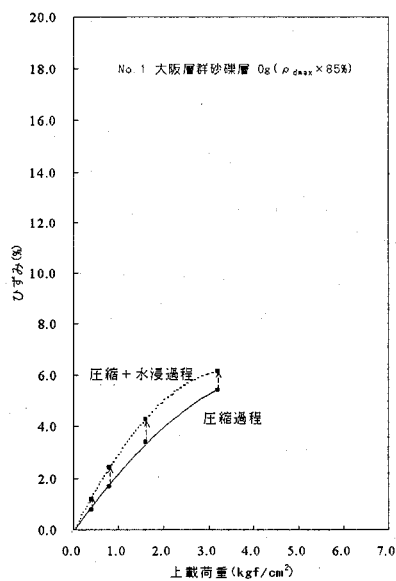


図-6 各試料毎の上載荷重～ひずみ曲線

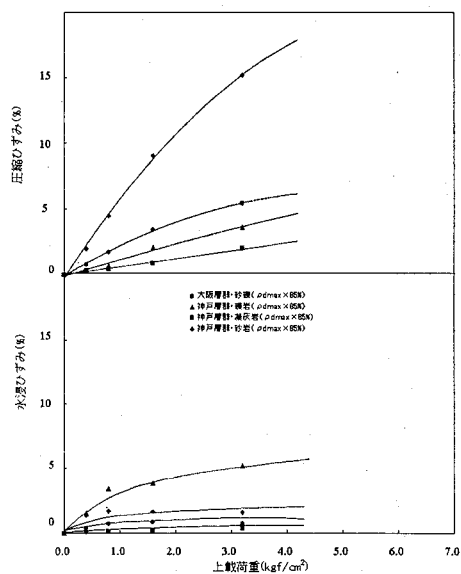


図-7 各試料毎の圧縮ひずみと水浸ひずみ

5. 土量変化率の検討

(1) 土量変化率の考え方

自然地盤を掘削すると、それまでよくかみ合い、膠着されていた土塊や岩塊が小さい塊、または個々の岩片や土粒子まで分解する。そのため掘削された土は、地盤をつくっている一体となった土塊より、著しく間隙が増加するので体積が増加する。この材料を盛土として転圧突固めを行うと土塊は締まり、さらに長期間を経ると、人工的及び自然の締まり作用を受けてさらに間隙量を減らし、体積を収縮する。しかし実際には、岩塊を用いた盛土地盤ではいかに厳密な施工による転圧を行っても、それがもとの原石状態に回復することはない。また、原石の風化が著しく土砂に近い状態である場合や、大阪層群の土砂の場合は元の体積より小さくなることもある。

土工の作業には、この膨張と縮小が大きく影響する。すなわち、盛土への運搬は膨張した状態で行われるので、運搬機械、積み込み機械などの能力はこの状態の土量に対し、盛土に必要な土量は締固めた後、すなわち縮小を見込んだ量を必要とする。盛土工の施工計画では施工時の盛土材料の過不足が生じないように計画することが非常に重要である。

土工における掘削、土塊の運搬、締固めの計画を行う際の指標となる土量変化率(L, C)については、一般に次のような定義がなされている³⁾。

$$L = \frac{\text{ほぐした土量}(m^3)}{\text{地山の土量}(m^3)} \quad C = \frac{\text{締固めた土量}(m^3)}{\text{地山の土量}(m^3)} \quad (1)$$

以上の変化率は、通常設計段階では過去の経験値を利用し、実際の施工段階では現地での試験掘削や試験盛土によって再設定するのが一般的である。

土量変化率は土工の対象となっている地盤の地質や風化状態によって、現場ごとで異なっているのが通常であるため、経験値を利用せずに以下の方法で土量変化率を事前の室内試験等から推定することが可能である。すなわち、盛土材料試験(締固め試験)および岩石試験結果をもとに、盛土の土量変化率Cは、地山の乾燥密度 ρ_d 、盛土材の最大乾燥密度 ρ_{dmax} および管理密度($\rho_{dmax} \times \alpha\%$)から試算することができる。

$$C = \frac{1/(\rho_{dmax} \times \alpha\%)}{1/\rho_d} = \frac{\rho_d}{\rho_{dmax} \times \alpha\%} \quad (2)$$

ここで、 α は施工密度と最大乾燥密度との百分率(%)

JIS に定められている突固めによる土の締固め試験は、比較的实际の施工機械の締固め効果に近い結果を得るということが経験的に知られている。しかし、この原則が常に適応できるかという点必ずしもそうではない。例えば最適条件というものが、気象条件や材質によって達成できないこともあるし、締固めの施工機械も理想のものが実際の施工時に使用できるかどうかということも、現場周辺の環境条件によって制約を受けるからである。特に、神戸層群の岩塊盛土では、盛土中の岩塊が施工中や完成後に地下水等による水浸によってスレーキングが生じ、急速に割れたり細流化を起こし沈下を生じやすく、この沈下が土量変化率に大きく影響する。土量変化率は、施工乾燥密度と地山の乾燥密度との比較から試算できるが、実際は盛土材料試験の方法の違いや、盛土の沈下量、さらに最終的な盛土完成に要する余盛り土量が大きく影響する。この余盛り土量は盛土の施工形状に影響されるため、より正確な土量変化率を求めるためには、実際の土工計画(切土と盛土の量)に合わせて盛土材料試験結果から推定する必要がある。

(2) 土量変化率の検討方法

a) 盛土の圧縮沈下の予測

盛土は段階的に行われるので、それを薄層の盛土段階に分割する。ある盛土層の沈下はその層より上部に施工される盛土の重さを上載荷重として今回試験より求められた圧縮・水浸過程における上載荷重～ひずみ曲線を用いて求められる。いま、 n 段目の層を考える。土かぶり鉛直応力を P_n とすると、 n 番目の層の鉛直応力の増分は $(P_n - P_{n-1})$ となり、それによる沈下量は上載荷重～ひずみ曲線により $S_n = (\epsilon_n - \epsilon_{n-1}) \times h_n$ として求められる。以上様子を模式的に示すと、図-8 のようになる。ある盛土施工時点で設置された沈下計により測定される沈下量は、上載荷重の増加による沈下計設置点より下層の圧縮ひずみの総和とし

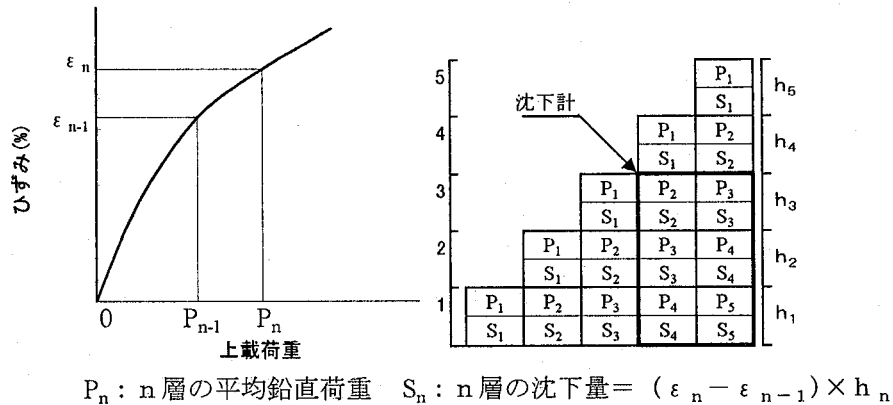


図-8 計算モデル

て求められる。本節で取り扱う盛土の総沈下量は、図-8の沈下量をすべて合計したものに相当する。すなわち、 $\Sigma S = 5S_1 + 4S_2 + 3S_3 + 2S_4 + S_5$ となる。

b) 水浸沈下の予測

盛土施工後に地下水位が上昇し、盛土層がその水浸により沈下する場合の予測を大型特殊圧縮試験で得られる水浸過程の結果を利用する。沈下の予測は前述の圧縮沈下の場合と同様に、盛土層を適当な薄層に分割し各層に生じる水浸沈下量を求め、その総和として盛土層全体の沈下量を求める。各層ごとの水浸沈下量は、その層の中央に作用する鉛直応力を上載荷重として、試験結果から水浸ひずみを求め、それに層厚をかけて求める。この場合でも沈下は比較的短時間で終了する。従って、地下水位の上昇に伴う水浸沈下量は、地下水位面以下の層の水浸沈下量の総和として求めることができる。

(3) 単一の材料による土量変化率の検討

a) 検討方法

当該地の切土の対象となる地質は、それぞれの切土部で、大阪層群砂礫層 0g、粘性土 0c、神戸層群の礫岩 Kg、砂岩 Ks、泥岩 Km、凝灰岩 Kt であり、盛土にはそれぞれが単独、層別あるいは混合されて転圧される。実際には個々の盛土部で、盛土材の種類や盛土形状ならびに施工方法が違っているため、実際の土量変化率は個々の盛土で違ってくる。しかし、ここでは簡易的に、単一の盛土材、同じ盛土形状、同じ施工法とし、個々の盛土の総和として一つの巨大な盛土を仮定し、その沈下量に伴う余盛り量を試算し、最終的にこの余盛り量を加えた盛土材料の総量として、各盛土材料毎の土量変化率を検討した。

b) 盛土断面の設定

盛土を施工する谷部斜面の傾斜の平均を 30 度(谷の角度は 120 度)と仮定し、盛土の横断形状が逆二等辺三角形、盛土の平均形状を長方形とする。図-9 に示すように谷の延長を L 、谷部の盛土上部での幅を B 、盛土の最大深さを D とする。ここで、基本設計における土工の運土計画によれば、盛土の全容量 V は、 $11,811,000\text{m}^3$ 、全面積 A は、 $1,171,000\text{m}^2$ である。

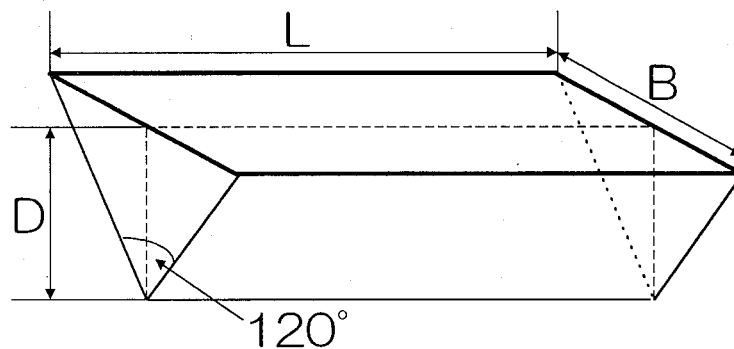


図-9 仮定した盛土

L と B を等くすると、 $L = B = \sqrt{1,171,000} = 1,082.13\text{m}$ であり、 $D = 2V/(B \times L) = 20.17\text{m}$ となる。

c) 余盛土量の計算方法

余盛土量は以下の式より求められる。

$$\Delta D = D \times (\beta + \beta^2 + \beta^3 + \dots) \quad (3)$$

$$\Delta V = A \times \Delta D \quad (4)$$

ここで、 ΔD : 余盛高(m)

ΔV : 余盛土量(m³)

D : 盛土の最大深さ(m)

A : 全盛土面積(m²)

β : 盛土高 20.17m 時の圧縮と水浸によるひずみ量(%)

d) 沈下を考慮した土量変化率の検討

土量変化率は前述した式より求めることができ、さらに沈下に伴う余盛土量を考慮した最終的な土量変化率は以下の式より求めることができる。

$$C' = C / (1 + \Delta V / V) \quad (5)$$

ここで、C : 土量変化率

C' : 最終的な土量変化率

V : 盛土量(m³)

以上の式を用いて土量変化率を求めた。得られた結果を表-4 に示す。

表-4 各試料毎の土量変化率算定結果

No.	1	2	3	4
地質	大阪層群 砂礫層 Og	神戸層群 礫岩 K g	神戸層群 凝灰岩 K t	神戸層群 砂岩 K s
ひずみ量(%) β	4.17	5.85	1.27	9.99
余盛高(m) ΔD	0.878	1.253	0.259	2.239
余盛土量(m ³) ΔV	1,027,773	1,467,568	303,821	2,621,423
$\Delta V / V$ (%)	8.70	12.43	2.57	22.19
土量変化率(%) C	1.22	1.16	1.39	1.16
土量変化率(%) C'	1.12	1.03	1.35	0.95

表-5 一般的な土量変化率

名 称	L	C
岩 または 石	硬 岩	1.65 ~ 2.00
	中 硬 岩	1.50 ~ 1.70
	軟 岩	1.30 ~ 1.70
	岩塊・玉石	1.10 ~ 1.20
礫 混 り 土	礫	1.10 ~ 1.20
	礫 質 土	1.10 ~ 1.30
	固結した礫質土	1.25 ~ 1.45
砂	砂	1.10 ~ 1.20
	岩塊・玉石混り砂	1.15 ~ 1.20
普 通 土	砂 質 土	1.20 ~ 1.30
	岩塊・玉石混り砂質土	1.40 ~ 1.45
粘 性 土 など	粘 性 土	1.20 ~ 1.45
	礫混り粘性土	1.30 ~ 1.40
	岩塊・玉石混り粘性土	1.40 ~ 1.45

表-4 より、今回の試験結果より算定した値は各盛土材料とも一般的な土量変化率（表-5³⁾ 参照）に近い値であるといえる。砂岩 Ks については一般的な値よりも小さく、この理由としては今回採取した試料が、砂岩層の上部付近より採取した風化部の試料で、乾燥密度(ρ_d)が $1.524(t/m^3)$ と低い値であったため、最終土量変化率も低い値になったと考えられる。

(4)実際の土工計画に沿った土量変化率の検討

前節で検討した各盛土材料毎の土量変化率は、単一のモデル盛土における個々の上載荷重～ひずみ曲線から直接的に試算したものである。一方、実際の土工で考慮しなければならない点は、①盛土の周辺に分布する神戸層群岩盤や大阪層群土砂が切土の対象となるので、盛土材料の種別構成比は、地域ごとに千差万別である、②盛土の層厚によって場所ごとに沈下量が異なること等があげられる。盛土全体の土量変化率は以上の2点を考慮して、メッシュ分割した盛土ごとの推定沈下量と余盛土量から算出する必要がある。

本節では、造成計画地内の一つの盛土部を対象として、その運土計画から推定できる盛土材料の比率から混合盛土材料を仮定し、メッシュ分割した盛土毎の推定沈下量と余盛土量から盛土全体の土量変化率を検討した。

a) 運土計画と盛土材料の比率

実際の運土計画図で盛土が計画されている区域の一つについて、土量変化率を計算する。運土計画図を図-10に示す。なお、本研究で取り扱う区域は図中の太枠の部分(A盛土)で、この区域を標高156mになるように盛土する計画である。この区域に運土される土の発生地はBとCである。BおよびC地区の切土によって発生する盛土材料の比率を表-6に示す。

これらの値を用いて混合としての土の特性を求める。具体的には、まずBとCの総掘削土量に対するそれぞれの盛土材料の体積比を算出し、それぞれの湿潤密度をかけたものの和を混合としての盛土材料の湿潤密度とした。

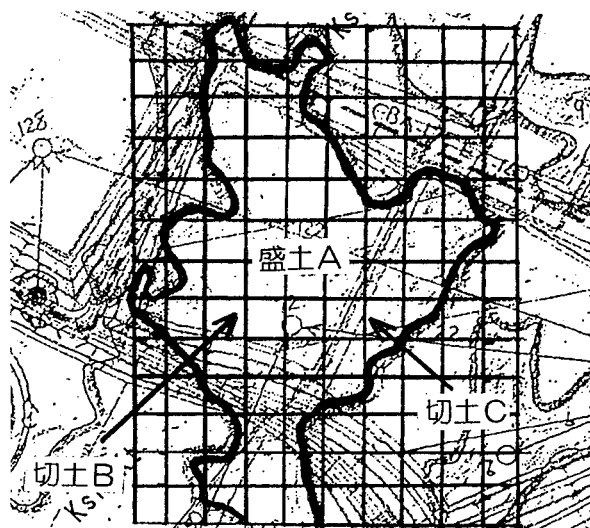


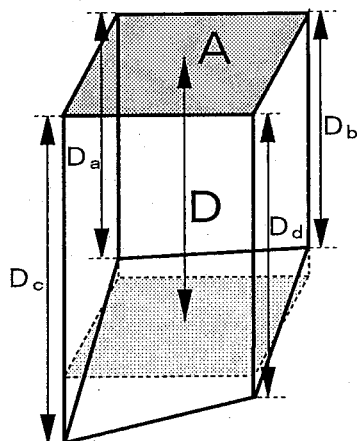
図-10 運土計画図

表-6 盛土材料の比率

		礫岩 Kg	凝灰岩 Kt	砂岩 Ks	泥岩 Km
現場湿潤密度	t/m ³	1.993	2.253	1.908	1.401
現場乾燥密度	t/m ³	1.888	1.876	1.524	0.899
最大乾燥密度	t/m ³	1.918	1.592	1.544	0.966
施工乾燥密度	t/m ³	1.630	1.353	1.312	0.821
施工湿潤密度	t/m ³	1.738	1.630	1.643	1.279
切土Bの掘削量	× 10 ⁶ m ³	1.580	2.750	0.060	0.610
切土Cの掘削量	× 10 ⁶ m ³	2.720	6.850	5.140	5.090
切土掘削総量	× 10 ⁶ m ⁴	4.300	9.600	5.200	5.700
盛土材料体積比	%	17.3	38.7	21.0	23.0

b) メッシュデータの読み取り

- ①盛土の対象となる区域を 50m×50m のメッシュに切る (図-10 参照)。
- ②各メッシュの 4 隅の標高を等高線より読みとり、それぞれの標高と盛土完成高である標高 156m との差の平均をそのメッシュの深さとする(図-11 参照)。



A:各メッシュの面積(2,500m²)
D:平均深さ(m)
Da~Dd:4 隅の深さ(m)
 $D=(D_a + D_b + D_c + D_d)/4$

図-11 メッシュデータの読み取り

c) 上載荷重～ひずみ曲線の合成方法と結果

各盛土試料のひずみ量に表-6 に示した体積比をかけたものの和を混合の盛土材料のひずみ量とし、それらの結果から混合盛土材料の上載荷重～ひずみ曲線を作成した。これを図-12 に示す。なお、表-6 に示したように、BおよびC地区の切土部においては泥岩 Km が掘削される。本研究では、前述したように泥岩 Km に関しては大型特殊圧縮試験の対象外としたため、泥岩 Km の上載荷重～ひずみ曲線が得られていない。川崎地質(株)において、本造成計画地内で採取した試料を用いて、大型特殊圧縮試験と同様の方法で小型特殊圧縮試験が行われている。本研究ではこの試験結果より得られている上載荷重～ひずみ曲線を泥岩 Km の上載荷重～ひずみ曲線として用いた。

d) 各メッシュ分割盛土の圧縮沈下の予測

圧縮沈下の予測は、各メッシュ毎に前述した方法より図-12 に示した上載荷重と圧縮ひずみの関係を用いて、盛土施工時の各メッシュ分割盛土毎の沈下予測を行った。なお、盛土高が 0～10m の場合は、5 層に、10m～20m、20m～30m の場合には、それぞれ 10 層、15 層に分割して圧縮沈下計算表を作成した。

e) 各メッシュ分割盛土の水浸沈下の予測

水浸沈下の予測は、圧縮沈下と同様に各メッシュ毎に前述した方法より図-12 に示した上載荷重と圧縮ひずみの関係を用いて、盛土施工後の水浸による各メッシュ分割盛土毎の沈下予測を行った。なお、盛土高が 0～10m の場合は、5 層に、10m～20m、20m～30m の場合には、それぞれ 10 層、15 層に分割して水浸沈下計算表を作成した。

f) 土量変化率の算出

d) と e) より求めた各メッシュ分割盛土毎の圧縮沈下量と水浸沈下量の和がそのメッシュの総沈下量であり、これをそのメッシュの平均深さ D_m で割ったものを β として、 $\Delta D = D \times (\beta + \beta_2 + \beta_3 + \dots)$ より余盛高 ΔD (m)、 $\Delta V = A \times \Delta D$ より余盛土量 ΔV (m³)、 $V = A \times D$ より盛土量 V (m³) をそれぞれのメ

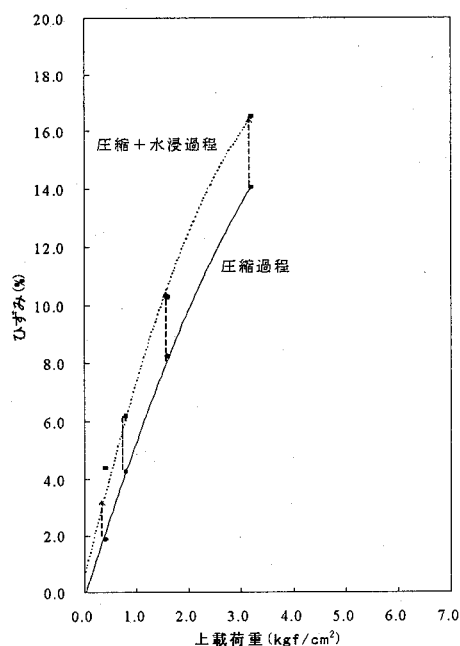


図-12 混合盛土材料の上載荷重～ひずみ曲線

ッシュについて求める。これらを用いて、本研究で取り扱った区域の最終的な土量変化率 C' は式(5)より求められる($C' = 1.24 / \{1 + (74850 / 2188750)\} \approx 1.20$)。

つまり、BおよびC区域から切土によって発生する盛土材料を用いて、A盛土の施工を行う場合、その最終土量変化率は1.20となる。

BとCの切土によって発生する盛土材料をすべてA盛土で消化できれば理想的であるが、土量変化率が1.20ということは、A盛土で消化できる土量は $2,188,750 / 1.20 = 1,823,958\text{m}^3$ となり、BとCの切土量が $2,480,000\text{m}^3$ であるのでこれを全てA盛土で消費することはできない。よって、計画の完成高さを変更して標高156mよりも高く設定するか、またはBとC区域の切土によって発生する盛土材をほかの盛土区域に運ぶといった検討が必要となる。

本研究で取り扱った区域の最終的な土量変化率の値(1.20)は、実際の運土計画におけるA盛土の土量変化率の基準値とされ、同様に求めて他の盛土部の基準値とともに、造成地全体での土量変化率が1.00となるように運土計画の変更、検討が行われる必要がある。

6. 結論

本研究で得られた結果を以下に列挙する。

- (1) 圧縮による沈下量は、上載荷重が大きなものほど大きくなるが、その値は、試料の種類によりかなりの差異がある。
- (2) 大型特殊圧縮試験において、圧縮過程では各試料とも上載荷重の増加に伴う沈下量の大部分が即時沈下で占められている。また水浸過程では、供試体が飽和した後、急激な沈下が見られ、その後も穏やかな速度ではあるが沈下が進行する。
- (3) 岩種に関わらず圧縮過程においては、上載荷重～ひずみ曲線の勾配は上載荷重の増加に伴い小さくなる。水浸過程においても同様の傾向を示すが、水浸過程の方が上載荷重の増加に伴うひずみ量の減少率が若干大きくなる。
- (4) 神戸層群凝灰岩では、上載荷重が小さい場合に水浸させると沈下せずに膨張する可能性がある。
- (5) 試料によっては、深度の違い等によって風化の程度に差が生じているものもあり、実際の硬軟区分を加味して、土量変化率を考慮する必要がある。
- (6) 単一の盛土材による巨大な盛土と仮定し、各盛土材料毎の沈下を考慮した土量変化率を検討した結果、土量変化率は0.95～1.35と各盛土材料とも一般的な土量変化率に近い値であった。
- (7) 造成計画地内の一つの盛土部を対象として、その運土計画から推定できる盛土材料の比率から混合盛土材料を仮定し、メッシュ分割した盛土毎の推定沈下量と余盛土量から盛土全体の土量変化率を検討した結果、土量変化率は1.20であった。この値は、実際の運土計画における盛土の土量変化率の基準値とされ、同様に求めて他の盛土部の基準値とともに、造成地全体での土量変化率が1.00となるように運土計画の変更、検討が行われる必要がある。

謝辞：現場試料ならびに試験結果を提供して頂いた川崎地質株式会社池尻 勝俊氏に深く御礼申し上げます。また、試料採取ならびに大型締固め試験等で研究室の皆様に多大なる援助を得た。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 尾崎正紀、松浦浩久：三田地域の地質、地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)、地質調査所、93p.、1988。
- 2) 野田耕：沈下を主体とした盛土の施工管理手法に関する研究、神戸大学博士論文、136p.、1988。
- 3) 日本道路協会：道路土工施工指針一改訂版一、日本道路協会、291p.、1986。

著者：1) 鳥居宣之、神戸大学都市安全研究センター、助手；2) 西 勝、神戸大学都市安全研究センター、教授；3) 吉田信之、神戸大学都市安全研究センター、助教授；4) 木村篤司、戸田建設株式会社、元神戸大学工学部建設学科学生

